

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра тракторов и автомобилей

ТЕОРИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

В 2 частях

Часть 1

Методические указания
по выполнению лабораторных и практических работ
для студентов специальностей 1-74 06 01
«Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства», 1-74 06 03
«Ремонтно-обслуживающее производство
в сельском хозяйстве»

Минск
БГАТУ
2009

УДК 629.3(07)
ББК 39.3я7
Т 33

Рекомендовано научно-методическим советом агро-механического факультета БГАТУ.

Протокол № 17 от 22 июня 2009 г.

Авторы:

д-р техн. наук, проф. *Г.С. Горин* (разделы 1, 2, 3);
канд. техн. наук, доц. *А.В. Захаров* (разделы 1, 2, 3);
зав. лаб. БелМИС *А.В. Вацула* (разделы 1, 2, 3);
канд. техн. наук, доц. *Н.А. Воробьев* (лаб. работа 6)

Рецензенты:

зам. зав. отделом тракторов и сельхозмашин
Объединенного института машиностроения НАН Беларуси,
д-р техн. наук *Л.И. Бойко*;
зав. кафедрой ОНИП БГАТУ, канд. техн. наук, доц. *В.Б. Ловкис*

Т 33 **Теория тракторов и автомобилей** : методические указания : в 2 ч. / Г.С. Горин и [др.]. – Минск : БГАТУ, 2009. – Ч. 1. – 124 с.

ISBN 978-985-519-163-7.

В издании уточнена нормативная база, используемая при энергооценке и изучении динамики современных тракторов и автомобилей; описаны современные системы измерения и регистрации экспериментальных данных, используемые Белорусской машинно-испытательной станцией.

УДК 629.3(07)
ББК 39.3я7

ISBN 978-985-519-163-7 (ч. 1)
ISBN 978-985-519-164-4

© БГАТУ, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Раздел 1. ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭНЕРГООЦЕНКА МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	5
Лабораторная работа 1 Тяговые испытания трактора. Тяговые классы.....	5
Лабораторная работа 2 Измерительная и регистрирующая аппаратура для тяговых испытаний и энергооценки тракторов.....	15
Лабораторная работа 3 Построение тяговой характеристики по результатам испытаний.....	30
Лабораторная работа 4 Методы энергетической оценки машинных комплексов.....	38
Раздел 2. ТАРИРОВАНИЕ И КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ... ..	47
Лабораторная работа 5 Методика калибровки динамометра общего назначения ДПУ-50-1-У2	55
Лабораторная работа 6 Методика калибровки расходомера топлива «Flow-FCS-3-250».....	60
Раздел 3. СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРАКТОРА С НАВЕСНЫМ ОРУДИЕМ.....	69
Практическая работа 1 Динамометрирование трактора с навесным орудием.....	74
Практическая работа 2 Определение усилий, действующих на тяги и рычаги заднего навесного устройства при силовом регулировании по результатам динамометрирования.....	87
Практическая работа 3 Определение усилий, действующих на тяги и рычаги заднего навесного устройства при высотном регулировании по результатам динамометрирования.....	92
ЛИТЕРАТУРА.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	96
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 7.....	121

ВВЕДЕНИЕ

Новые разделы теории тракторов и автомобилей определяют направления совершенствования их эксплуатационных свойств и качеств и, прежде всего, путем приспособления к выполнению современных технологий в растениеводстве. В условиях обострившихся кризисных явлений в сельскохозяйственном производстве и механизации проявились тенденции применения тракторов высокой и особо высокой мощности, предназначенных для работы в составе комбинированных агрегатов.

Совмещение технологических операций позволяет:

- снизить энергозатраты и уплотнение почвы благодаря сокращению числа проходов в 3–4 раза;
- выполнить сельскохозяйственные работы в более короткие сроки при меньших трудозатратах.

Поэтому в настоящие методических указаниях введены разделы, связанные энергооценкой сложных технологических комплексов, а также с изучением их характера воздействия на трактор.

Кроме того, в издании уточнена нормативная база, используемая при энергооценке и изучении динамики современных тракторов и автомобилей, а также описаны современные системы измерения и регистрации экспериментальных данных, используемые Белорусской машинно-испытательной станцией.

Выбор приоритетных задач велся с учетом современных тенденций в области формирования учебных программ и технологий обучения студентов и перспектив подготовки специалистов по новой специальности 1-54 01 01 06 «Метрология, стандартизация и сертификация» (агропромышленный комплекс).

Уточнения методических указаний коснулись ссылок на более новые стандарты, в увязке их со стандартами ИСО.

Впервые в методические указания включены практические работы по расчету показателей силового взаимодействия трактора с орудиями с учетом их технологических настроек. Названные задачи более полно соответствуют профилю подготовки специалистов, чем решаемые ранее.

Раздел 1

ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭНЕРГООЦЕНКА МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Лабораторная работа 1

ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРА. ТЯГОВЫЕ КЛАССЫ

Цель работы: изучить методику тяговых испытаний тракторов, измеряемые и рассчитываемые величины; усвоить принятые термины и определения, а также системы классификации тракторов.

Содержание работы

Тяговые испытания проводятся для оценки тягово-динамических и экономических свойств трактора в заданных условиях.

Тяговые показатели определяют в функции от крюковой нагрузки, приложенной к тягово-сцепному устройству.

Методика тяговых испытаний тракторов регламентируется ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90) «Тракторы сельскохозяйственные: определение тяговых показателей».

1. Область применения

ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90) распространяется на сельскохозяйственные тракторы, развивающие тяговое усилие 6 кН и выше, в том числе тракторные самоходные шасси, сельскохозяйственные модификации промышленных тракторов и лесохозяйственные тракторы (далее – тракторы). Стандарт пригоден для целей сертификации.

2. Определения

В данном нормативном документе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Тяговое усилие – сила, приложенная к сцепному устройству движущегося трактора в горизонтальной плоскости в направлении его продольной оси, поддерживаемая в течение не менее 20 с или

времени, необходимого для прохождения расстояния не менее 20 м, в зависимости от того, какое время больше.

Максимальное тяговое усилие – наибольшее горизонтальное усилие в точке соединения со сцепным устройством, ограниченное началом неустойчивой работы двигателя или предельным буксованием движителей.

3. Обозначения и сокращения по ГОСТ 30745–2001

В стандарте применяют следующие обозначения и сокращения:

$P_{кр. max}$ — максимальное тяговое усилие, Н;

$P_{кр}$ — тяговое усилие на сцепном устройстве, Н;

$P_{кр. ср}$ — среднее тяговое усилие, Н;

h_{max} — высота линии тяги над грунтом, м;

$G_{п.к}$ — статическая нагрузка передних колес на грунт, Н;

L — база трактора, м;

$t_{оп}$ — время опыта, с;

S — путь, пройденный трактором за опыт, м;

V_t — расход топлива за опыт, л;

n_d — частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹;

m_t — масса трактора, кг;

$P_{пр}$ — давление в шине (предельное), кПа;

$v_{ср}$ — средняя скорость трактора за пройденный путь S , км/ч;

$N_{ср}$ — средняя тяговая мощность за пройденный путь S при средней скорости на участке измерения $v_{ср}$, кВт;

G_m — расход топлива, кг/ч;

$\Delta m, \Delta V$ — разности показаний весового устройства или измерителя объема топлива соответственно до и после проведения опыта, кг, см³;

ρ — плотность топлива при опыте, кг/л;

q — удельный расход топлива, г/кВт·ч;

δ — буксование движителя, %;

n_0, n_0 — частота вращения ведущего колеса при движении трактора без нагрузки и с нагрузкой на крюке за один и тот же отрезок пути, мин⁻¹;

$\eta_{т.у}$ — тяговый условный коэффициент полезного действия;

$N_{кр. max}$ — максимальная тяговая мощность на данной передаче, кВт;

$N_{0 max}$ — максимальная мощность двигателя, определяемая по регуляторной характеристике по данным его тормозных испытаний до и после тяговых испытаний, кВт;

ВОМ — вал отбора мощности.

4. Термины, применяемые в ГОСТ 27021–86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы» и пояснения к ним.

Номинальное тяговое усилие сельскохозяйственного и лесохозяйственного трактора – усилие, которое трактор развивает на стерне средней плотности и нормальной влажности почвы (от 8 до 18 %) в зоне максимального значения тягового КПД при эксплуатационной массе, предусмотренной технической характеристикой (для колесных тракторов с балластным грузом) при предельном буксовании, значения которого указаны.

Эксплуатационная масса трактора – масса, состоящая из конструкционной массы трактора с основным оборудованием, массы груза на сиденье, соответствующей массе оператора, массы полной заправки всех емкостей горюче-смазочными материалами и охлаждающей жидкостью, массы инструмента и массы балластных грузов (для колесных тракторов).

Тяговые классы. Тяговые классы тракторов и их номинальные тяговые усилия должны соответствовать величинам, указанным в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Тяговые классы тракторов и соответствующие им номинальные тяговые усилия

Тяговый класс	Номинальное тяговое усилие, кН
0,2	От 1,8 до 5,4
0,6	Св. 5,4 до 8,1
0,9	» 8,1 » 12,6
1,4	» 12,6 » 18,0
2	» 18,0 » 27,0
3	» 27,0 » 36,0
4	» 36,0 » 45,0
5	» 45,0 » 54,0
6	» 54,0 » 72,0
8	» 72,0 » 108,0

Тяговый класс трактора, указанный в таблице, определяют по значению номинального тягового усилия.

Соотношение между тяговыми классами, представленными в таблице 1.1 стандарта ГОСТ 27021–86, и категориями трактора, установленными международными стандартами ИСО, указано в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Соотношение между тяговыми классами, установленными в таблице 1.1 (ГОСТ 27021–86), и категориями трактора, установленными международными стандартами ИСО 730/1–77, 730/2–79 и 730/3–82

Тяговый класс трактора по таблице 1.1	Ниже 0,6	0,6; 0,9	0,9; 1,4; 2	2; 3; 4	5; 6; 8
Категории трактора по ИСО 730/1–77, ИСО 730/2–79, ИСО 730/3–82	1	1	2	3	4

5. Общие требования к трактору

Испытуемый трактор должен соответствовать спецификации, приведенной в протоколе испытаний.

Перед испытаниями трактор необходимо обкатать с учетом рекомендаций изготовителя в объеме, допускающем последующую полную загрузку трактора по мощности.

Комплектация трактора должна соответствовать указанной изготовителем в руководстве по эксплуатации для использования на работах, требующих максимального тягового усилия.

Типоразмеры шин и давление в них должны соответствовать рекомендациям изготовителя, высота почвозацепов должна быть не менее 65 % от номинальной, а шаг гусеницы не должен превышать номинальный более, чем на 3 %.

Линия действия тягового усилия должна быть горизонтальной и лежать в продольной плоскости симметрии трактора, отклонение от нее не должно превышать 3°.

Высоту сцепного устройства следует оставлять зафиксированной в самом высоком положении, указанном в руководстве по эксплуатации. Для колесных тракторов максимальную высоту приложения тягового усилия h_{\max} в мм рассчитывают по формуле

$$h_{\max} = \frac{0,8G_{\text{п.к}}L}{P_{\text{кр. max}}},$$

где $G_{\text{п.к}}$ — статическая нагрузка передних колес на грунт, Н;

L — база трактора, м;

$P_{\text{кр. max}}$ — максимальное тяговое усилие на крюке (принимают по конструктивной документации на конкретную модель трактора), Н;

0,8 — коэффициент нагрузки на передние колеса трактора.

Дизельное топливо и смазочные масла, применяемые в тракторе при испытаниях, должны соответствовать требованиям техниче-

ских условий и эксплуатационной документации на трактор конкретной модели. Применяемое дизельное топливо должно иметь плотность $(0,83 \pm 0,01) \text{ т/м}^3$. Рекомендуется применять эталонное дизельное топливо.

Вспомогательное оборудование трактора (например, воздушный компрессор или насос гидросистемы подъемного устройства) при испытаниях отключают только в том случае, если это предусмотрено в руководстве по эксплуатации трактора и может быть выполнено без применения инструмента. В других случаях оборудование должно оставаться включенным и работать с минимальной нагрузкой.

Температура окружающего воздуха в период снятия тяговой характеристики составляет $(23 \pm 7) \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура охлаждающей жидкости и моторного масла должна соответствовать указанной в руководстве по эксплуатации трактора конкретной модели. При отсутствии таких указаний температура охлажденной жидкости на выходе из двигателя и моторного масла в поддоне двигателя или перед масляным радиатором должна быть в диапазоне от 85 до $95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Питание двигателя осуществляется через расходомер из его топливного бака. Во время измерения показателей топливный бак должен быть заполнен на $(60 \pm 10) \%$.

Подсоединение устройства для измерения топлива не должно изменять давление перед топливоподкачивающим насосом более чем на 10 кПа .

Допускается питание двигателя топливом из специального бака (например, установленного на динамическом устройстве) при условии сохранения давления перед топливоподкачивающим насосом.

Скорость движения трактора при испытаниях не должна превышать границ безопасности, указанных в технических условиях (ТУ) на конкретную модель трактора.

6. Порядок испытаний

Тяговые показатели определяют нагружением трактора внешней силой, приложенной к сцепному устройству.

При тяговых испытаниях трактор наиболее рационально нагружать при помощи специальных тормозных, или динамометрических, тележек. Чаще всего такие тележки создают на базе трактора или автомобиля, у которого вместо двигателя установлен тормоз того или иного типа — механический, гидравлический или электрический. Тележка работает на прицепе у испытываемого трактора. Во

время опытов колеса тележки через трансмиссию вращают вал тормоза, преодолевая приложенный к валу тормозной момент. Регулируя величину тормозного момента, можно менять тяговое сопротивление на крюке трактора. Величина тягового сопротивления замеряется динамометром, устанавливаемым между трактором и тележкой.

В качестве грузочного устройства можно применять также обычные дизельные тракторы или автомобили, используя дизель как компрессор (рисунок 1). Величина тягового сопротивления регулируется путем изменения количества топлива, подаваемого в цилиндры двигателя, и переключения передач в трансмиссии грузочного трактора.

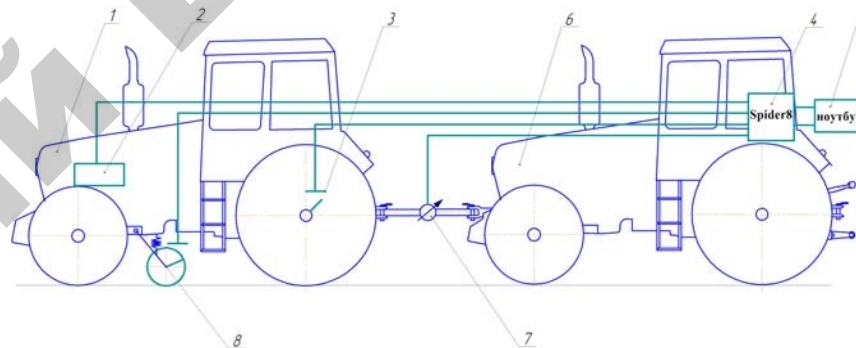


Рисунок 1 – Принципиальная схема для проведения тяговых испытаний трактора: 1 – испытываемый трактор; 2 – устройство для регистрации расхода топлива за опыт; 3 – устройство для измерения частоты вращения ведущих колес; 4 – цифровой преобразователь (*Spider8*); 5 – устройство для регистрации результатов измерений (ноутбук); 6 – грузочное устройство (трактор); 7 – тяговый динамометр; 8 – путеизмерительное колесо

Почвенные и другие фоны, на которых проводят испытания, приведены в таблице 1.3. Допускается проводить испытания на подвижной поверхности (например, на вращающемся барабане или испытательном стенде с бесконечной лентой), если их результаты соответствуют полученным при испытаниях колесных тракторов на бетонной поверхности, а гусеничных тракторов — на глинистом треке.

Испытания следует проводить при всех вариантах силового привода ведущих колес, предусмотренных конструкцией конкретного трактора и руководством по его эксплуатации.

Измерения начинают после достижения стабильного режима работы трактора. Положение органов управления регулятором

частоты вращения коленчатого вала двигателя должно соответствовать полной подаче топлива.

Тяговая нагрузка при испытаниях на почвенных фонах на каждой передаче измеряется последовательно от нуля до максимального значения. Число ступеней нагрузки должно быть достаточным для определения максимальной тяговой мощности.

Таблица 1.3 – Почвенные и другие фоны для проведения испытаний

Фоны	Тип трактора	Неплоскость поверхности в пределах габаритных размеров трактора, мм, не более	Уклон плоскости, прилегающей к поверхности фона, в пределах габаритов трактора, %, не более		Влажность почвы по ГОСТ 20915–86, %	Твердость фона по ГОСТ 20915–86, МПа (кгс/см ²)	Число ударов плотнотера, шт. (Твердость фона - по ГОСТ 23734)
			вдоль движения	поперек движения			
Трек с асфальтобетонным или термокадамовым покрытием	Колесный	10	1	1	–	–	–
Глинистый трек	Гусеничный	20	2	6	8–15	4–6 (40–60)	5–12
Стерня колосовых	Колесный и гусеничный	20	2	6	8–22	1,0–1,5 (10–15)	1–3
Поле, подготовленное к посеву	Колесный и гусеничный	20	2	6	8–22	0,1–0,7 (1–7)	5–15

Примечания.

1. Бетон, асфальт или термокадам должны быть очищены от грязи и следов масла.
2. Влажность и твердость почвы определяют в слое глубиной 0–15 см.
3. Площадь наконечника плотнотера ДорНИИ при определении твердости фона должна быть 10 см².
4. Высота стерни колосовых не более 15 см, участок должен быть очищен от пожнивных остатков и не иметь свальных и развальных борозд.
5. Твердость фона см. далее по тексту.
6. В период между последней обработкой почвы и испытаниями общая сумма остатков должна быть не более 3 мм.
7. Выбор почвенных фонов указывается в программе испытаний трактора конкретной модели.
8. Допускается определять тяговые показатели на уклоне 5 % при агрегатировании трактора с различными видами сельскохозяйственных машин.

Максимальное тяговое усилие должно ограничиваться началом неустойчивой работы двигателя или буксованием, предельное зна-

чение которого должно быть: на треках не более 7 % — для гусеничных и 15 % — для колесных тракторов и гусеничных с эластичной (резиновой) гусеницей, а на почвенных фонах — 15 и 30 % соответственно.

Измерения проводят при поддержании заданного тягового усилия в течение не менее 20 с или времени, необходимого для прохождения расстояния не менее 20 м, в зависимости от того, какое время больше. На режимах максимальной тяговой мощности на каждой передаче расход топлива измеряют за время прохождения трактором не менее 100 м.

Максимальная тяговая мощность определяется не менее, чем на шести передачах, начиная с передачи, соответствующей скорости движения трактора около 16 км/ч, и заканчивая передачей, на которой допускается развивать максимальное тяговое усилие, не превышая указанный предел буксования.

Если трактор имеет бесступенчатую трансмиссию, то испытания следует проводить при шести значениях передаточных чисел коробки передач, равномерно распределенных в диапазоне скоростей и тяговых усилий.

Если трактор имеет трансмиссию с гидротрансформатором, который может быть заблокирован оператором, то испытания проводят как с работающим, так и с заблокированным трансформатором.

Параметры и пределы основных погрешностей применяемых средств измерений должны соответствовать указанным в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Погрешности средств измерений по ГОСТ 30745–2001

№ п/п	Параметр	Значение, не более
1	Тяговое усилие на сцепном устройстве $P_{кр}$, Н	$0,01 P_{кр}$
2	Продолжительность опыта $t_{оп}$, с	0,2
3	Путь, пройденный трактором $S_{оп}$, м	$0,005 S_{оп}$
4	Суммарное число оборотов ведущих колес за опыт (испытание) n_k	0,2
5	Расход топлива за опыт $\Delta V (\Delta m)$, л (г)	1 % от расхода топлива при работе трактора с номинальной мощностью
6	Частота вращения коленчатого вала двигателя n_d , мин ⁻¹	$0,005 n_d$

Окончание таблицы 1.4

№ п/п	Параметр	Значение, не более
7	Масса трактора m_T , кг	$0,005 m_T$
8	Атмосферное давление, кПа	0,2
9	Давление в шине (предельное) $P_{пр}$, кПа	$0-0,05 P_{пр}$
10	Температура топлива, °С	1,0
11	Температура охлаждающей жидкости в двигателе, °С	2,0
12	Температура масла в двигателе и трансмиссии, °С	2,0
13	Температура окружающей среды, °С	0,5

Примечание – Измерения параметров, указанных в следующих пунктах таблицы, проводят: перед началом испытаний (7, 9); перед каждым испытанием (10–12); в течение испытания (1–6); ежедневно в начале, середине и конце испытаний (8, 13).

В процессе испытаний на основе визуальных наблюдений регистрируют:

- любые значительные вертикальные колебания колес и буксование, при котором они возникли;
- потерю управляемости трактора при максимальных тяговых усилиях.

Твердость и влажность почвенных фонов во время испытаний измеряют ежедневно не менее чем в десяти местах, равномерно расположенных по участку испытаний на глубине 5, 10 и 15 см в каждом месте.

До начала и после испытаний по определению тяговых показателей проводят испытания по определению мощности двигателя через ВОМ в соответствии с ГОСТ 30747–2001.

Результаты измерений обрабатывают в соответствии с целью определения основных тяговых показателей: тяговых усилий, скорости, тяговой мощности, расхода топлива, топливной мощности, расхода топлива, буксования и условного тягового КПД.

Результаты испытаний оформляют в виде отчета.

Содержание отчета по работе

1. Привести краткую методику тяговых испытаний.
2. Дать перечень показателей, замеряемых при тяговых испытаниях.
3. Сформулировать общие требования к испытываемому трактору.
4. Привести допустимые погрешности средств измерений.

Контрольные вопросы

1. Перечислите почвенные фоны, на которых проводят тяговые испытания тракторов.
2. Каким требованиям должны удовлетворять подобранные почвенные и другие фоны для проведения тяговых испытаний?
3. Какие показатели замеряют при тяговых испытаниях?
4. Какие общие требования предъявляются к испытываемому трактору?
5. Какова величина погрешности применяемых средств измерений?
6. Назовите допустимые пределы буксования колесных и гусеничных тракторов при тяговых испытаниях.

Лабораторная работа 2

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ИСПЫТАНИЙ И ЭНЕРГООЦЕНКИ ТРАКТОРОВ

Цель работы: изучить устройство и работу аппаратуры и приборов, применяемых при тяговых испытаниях и энергооценке тракторов, а также методики их калибровки.

Содержание работы

Для замеров, проводимых при тяговых испытаниях тракторов, требуется комплекс соответствующей измерительной и регистрирующей аппаратуры.

1. Регистрирующая аппаратура

Многоканальный накопитель данных и измерительный усилитель Spider8 представляет собой измерительный усилитель, предназначенный для электрических измерений механических величин: деформации, усилия, давления, перемещения, ускорения и температуры (рисунок 2).

Общее предварительное формирование сигналов – питание пассивных датчиков и усиление, сканирование – аналогово-цифровое преобразование, оцифровка, сопряжение с компьютером и технология соединения максимум 8 каналов – все это объединено в одном корпусе прибора *Spider8*. Он соединяется с компьютером через порт принтера или через интерфейс RS232.

Все необходимые установки производятся с компьютера с помощью команд; усилитель не имеет потенциометров, переключателей, паяных или вставных перемычек. Необходимость открыть корпус *Spider8* появляется только при установке дополнительных модулей.

Программный комплекс «Catman» многоканального накопителя данных и измерительного усилителя *Spider8*, регистрируя сигналы с датчиков в виде напряжения и других электрических сигналов, пересчитывает в численное значение физической величины на основе заложенной перед измерениями в процессе тарировки зависимости величины электрического сигнала от физической величины. При этом весь процесс регистрации происходит в реальном времени. Отображаются графически полученные данные в зависимости от времени (ось X).

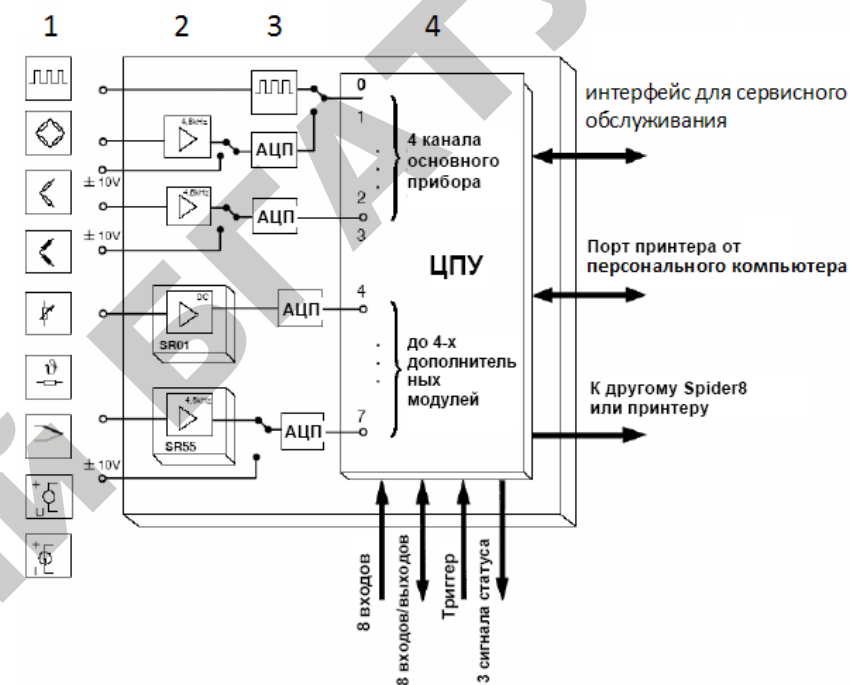


Рисунок 2 – Схематическое отображение обработки измеряемых сигналов в *Spider8*:
1 – датчики для измерения механических величин (тензометрические, индуктивные, пьезорезисторные (модуль несущей частоты SR55)); канал регистрации внешних источников электрических сигналов (модуль SR01); термопары; 2 – усилители постоянного тока и несущей частоты измерения до 1200 Гц; 3 – аналогово-цифровой преобразователь; 4 – цифровое преобразующее устройство (ЦПУ)

2. Измерительная аппаратура

Тяговые динамографы. Они состоят из датчика силового звена, воспринимающего замеряемое усилие, и регистрирующего устройства, записывающего значения тяговых усилий на движущейся ленте или другом регистрирующем устройстве (экране монитора, дисковом накопителе, принтере).

Связь между измерительным и регистрирующим (обычно ноутбук) устройствами может осуществляться по одной из двух схем:

- аналоговой по пути *измеритель* → *усилитель* → *регистратор*;
- цифровой по пути *измеритель* → (*усилитель*) → *аналогово-цифровой преобразователь* → *регистратор*.

При тяговых испытаниях трактора преимущественно применяются гидравлические и тензометрические динамографы.

Принципиальная схема гидравлического динамографа представлена на рисунке 3, а. Силовое звено 1 состоит из цилиндра с поршнем, пространство между которыми заполнено маслом. Под действием тягового усилия $P_{кр}$ масло сжимается и давит на плунжер 2, который упирается в рамку 3, подвешенную на пружине. Опускаясь под давлением масла, плунжер перемещает рамку вместе со стрелкой 4 регистрирующего механизма на величину, пропорциональную измеряемой силе $P_{кр}$. Конец стрелки воспроизводит перемещение рамки на градуированной шкале 7, по которой ведется визуальное наблюдение за тяговой нагрузкой. Одновременно игла 6 царапает на движущейся вощеной бумажной ленте динамографа тяговую диаграмму. Лентопротяжный механизм приводится от путеизмерительного колеса гибким валом 8. Игла пишет нулевую отметку. Игольчатый клапан 9 служит для дросселирования масла и гашения колебаний.

При тяговых испытаниях используют также тензометрические динамографы, у которых преобразование механических величин (деформаций силового звена) в электрические осуществляется при помощи проволочных или фольговых тензометрических датчиков омического сопротивления (тензорезисторов). Материал последних (константан или нихром) в процессе деформации меняет сопротивление. Будучи наклеены на деталь, датчики деформируются вместе с ней и реагируют на величину усилия, вызывающего деформацию, соответствующим изменением сопротивления, пропускаемому через них току. Датчики включаются в электрический измерительный мост, содержащий 4 плеча R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , перед началом испытаний он приводится в сбалансированное состояние. По закону Кирхгофа условие равновесия измерительного моста имеет следующий вид: $R_1, R_3 = R_2, R_4$.

На рисунке 3, б представлена схема кольцевого тензометрического динамографа, у которого четыре тензорезистора R_1 , R_2 , R_3 , R_4 наклеены на внутренней поверхности стального кольца и включены в четыре плеча измерительного моста. Два тензорезистора R_1 и R_3 размещены в зоне растяжения и два R_2 и R_4 – в зоне сжатия. Результаты измерений регистрируют магнитографом М или милливольтметром Г, включенным в измерительную диагональ. Для балансировки моста служит потенциометр Б. В запитываемую диагональ от аккумуляторной батареи подается напряжение 12 В.

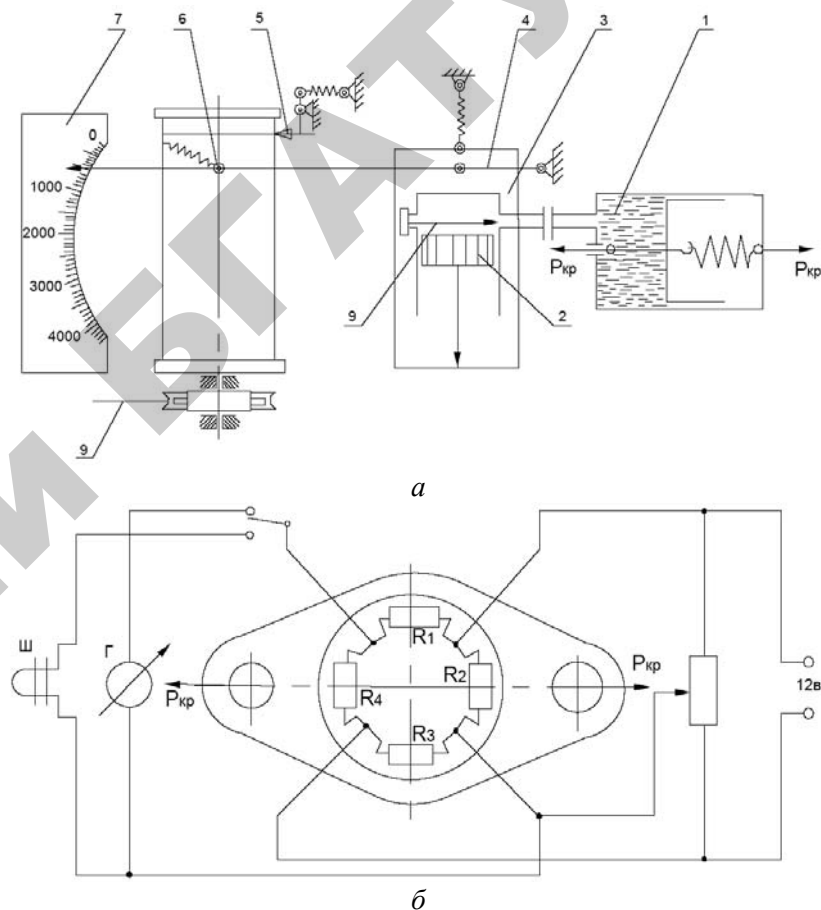


Рисунок 3 – Принципиальная схема тягового динамографа: а – гидравлического; б – тензометрического

Тензорезисторы R_1 и R_3 регистрируют деформации растяжения, а тензорезисторы R_2 и R_4 – деформации сжатия, соответственно при деформировании сопротивления R_1 и R_3 возрастут, а сопротивления R_2 и R_4 уменьшатся (рисунок 3, б).

При изменении начального омического сопоставления датчиков баланс моста нарушается ($R_1, R_3 \neq R_2, R_4$), в результате чего в его измерительной диагонали возникает ток, сила которого пропорциональна измеряемой величине $P_{кр}$. Достоинством мостовой измерительной схемы является линейная зависимость измеряемого тока от $P_{кр}$.

Максимальная величина относительного изменения омического сопротивления тензорезисторов не превышает 1 %, и непосредственная регистрация замеряемых величин без предварительного их усиления невозможна. Поэтому в измерительную диагональ электрического моста часто включают электронные устройства (усилители), которые усиливают сигналы, поступающие для записи в микропроцессор.

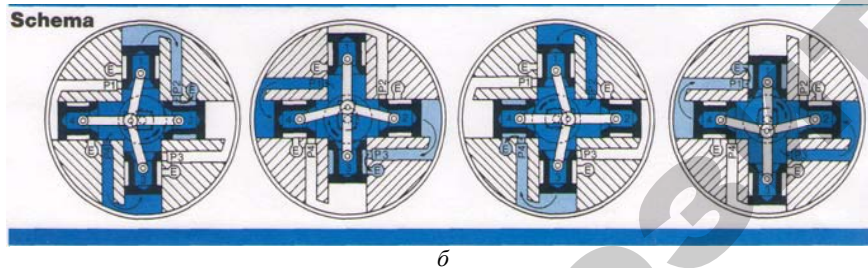
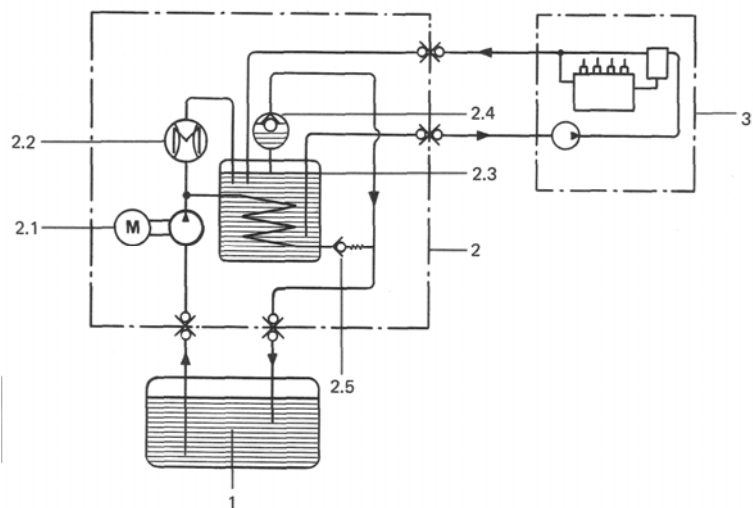


Рисунок 4 – Схемы расходомера «Flowtronic 210»:

а – принципиальная; *б* – механическая 4-поршневого устройства;

1 – топливный бак; 2 – расходомер «Flowtronic 210»; 2.1 – насос с электромотором;

2.2 – датчик давления; 2.3 – заборная емкость; 2.4 – клапан системы прокачки;

2.5 – переливной клапан; 3 – двигатель внутреннего сгорания

Топливные расходомеры. В конструкциях современных топливных расходомеров предусмотрены:

- автоматическое удаление воздуха путем прокачки системы перед и во время процесса измерения;
- гашение колебаний давления топлива, которое обеспечивается специальным демпфером;
- компенсация падения давления топлива, которая производится в измерительном датчике;
- охлаждение и поддержание постоянства температуры топлива, чтобы избежать снижения его плотности при повышении его температуры при работе ДВС.

Обычно применяют расходомеры, которые имеют: а) объемный поршневой тип дозирующего механизма; б) рабочее давление 5,0 бар; в) измерительный диапазон 0,5–150 л/ч; г) пропускную способность 250 л/ч; д) напряжение питания 12 В; е) погрешность измерения 0,5 %.

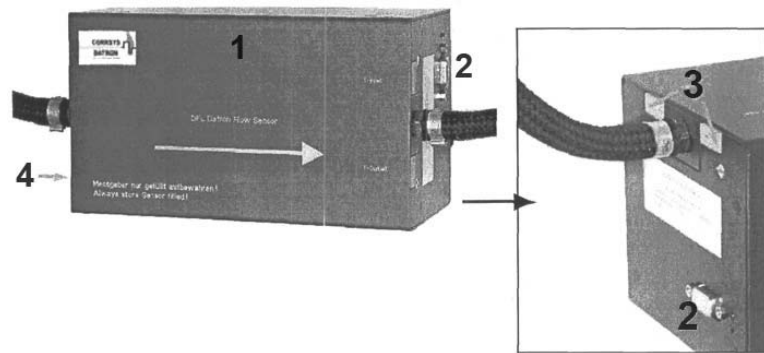
Для достижения этих показателей, например, расходомер топлива «Flowtronic 210», оборудуют насосом системы охлаждения и теплообменником, 4-клапанной измерительной системой, а также контроллером, который компенсирует броски давления в системе клапанов (рисунок 4).

Топливные расходомеры CORRSYS DATRON CDS-DFL разработаны для оснащения автомобилей и тракторов (рисунок 5).

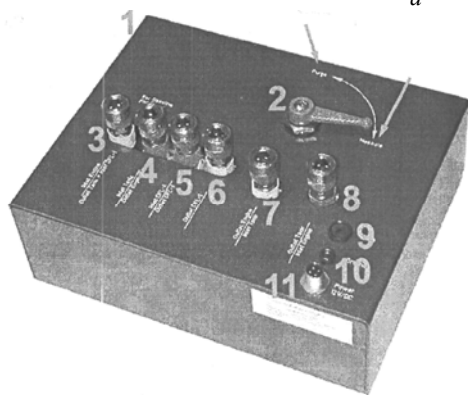
CDS-DFL1 представляют собой высокоточную 4-клапанную систему. Кроме того, в блоках CDS-DFL-WT используют теплообменники. Для повышения точности блок CDS-DFL-WT оборудован насосом системы охлаждения и контроллером давления, которые компенсируют перепады давления в системе клапанов.

Принцип измерения CDS-DFL следующий: избыточный поток топлива от двигателя сливается в топливный бак. Поэтому системы E-, K- и L-Jetronic и дизельные системы впрыска должны анализироваться на правильность учета расхода топлива. Для этих целей в датчиках CDS-DFL/CDS-DFL-WT потребление топлива рассчитывают с использованием значения плотности топлива при постоянной температуре.

Топливомеры CDS-DFL1/CDS-DFL-WT рассчитывают количество топлива в бензобаке, в то время как избыточный поток топлива из двигателя возвращается опять в двигатель. Чтобы предотвратить увеличение потока топлива из-за повышения температуры, CDS-DFL1 дополнительно оборудован теплообменником, в котором топливо приводится к начальной температуре и, следовательно, к начальному объему. Расходомер работает при постоянной температуре и при постоянной плотности топлива.



а



б



Рисунок 5 – Топливные расходомеры CORRSYS DATRON CDS-DFL:
 а – блок измерения CDS-DFL1: 1 – блок CDS-DFL1; 2 – выход сигнала, 9-пин D-Sub; 3 – термовставки (дополнительно); 4 – дополнительный разъем для датчика давления (не показан); б – блок измерения и коммуникаций CDS-DFL-WT: 1 – блок CDS-DFL-WT; 2 – дренажный клапан; 3 – нагнетаемый поток к двигателю; 4 – нагнетательный поток от бака; 5 – нагнетательный поток к датчику; 6 – возвратный поток от датчика; 7 – возвратный поток от двигателя; 8 – возвратный поток от бака; 9 – предохранитель; 10 – заземление; 11 – питание

Монтаж расходомера. Системы впрыска топлива требуют разных настроек расходомера:

- 1 группа «Е-, К- и L-Jetronic»;
- 2 группа «Системы однофазного впрыска»;
- 3 группа «Дизельные двигатели с роторным насосом»;
- 4 группа «Карбюраторные двигатели».

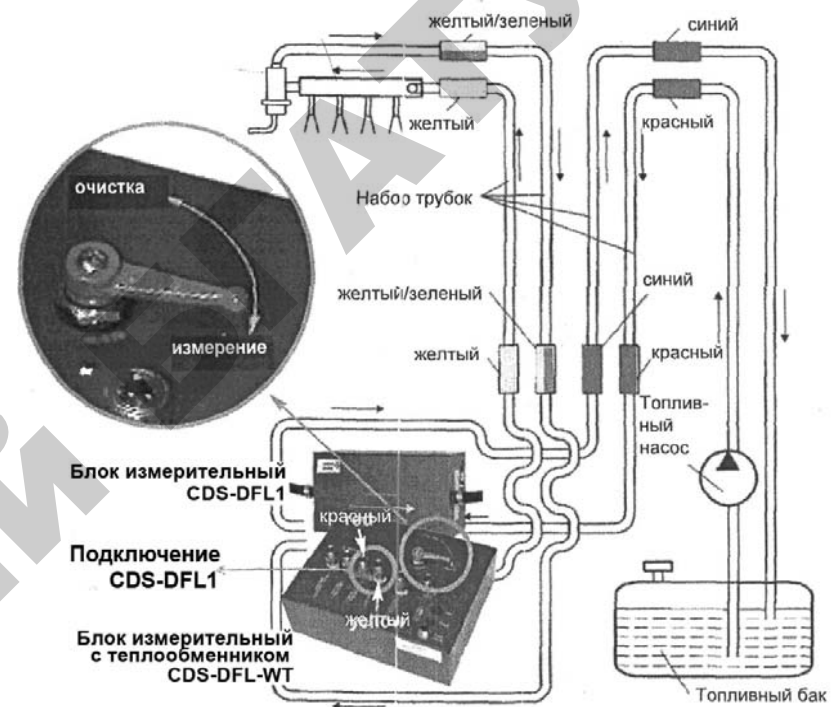


Рисунок 6 – Монтаж расходомера в системах питания двигателей Е-, К- и L-Jetronic

Монтаж расходомера в системах питания двигателей Е-, К- и L-Jetronic выполняется по следующему плану (рисунок 6):

1. Отсоедините топливопроводы подводящий и обратного слива и установите 4 соответствующие быстрозажимные муфты.

2. Подсоедините трубки через быстрозажимные муфты в соответствии с цветовой маркировкой:

- | | |
|----------------|-------------------------|
| красный | – подача из бензобака; |
| синий | – возврат в бензобак; |
| желтый | – подача в двигатель; |
| желтый/зеленый | – возврат из двигателя. |

3. Установите блок CDS-DFL1 в зоне ног переднего пассажира и подключите кабель питания.

4. Установите рукоятку клапана прокачки в положение «Purge» («Прокачка»), затем включите прибор с помощью переключателя «On/Off» («Включение/выключение»).

5. Запустите двигатель и подождите примерно 20 секунд.
6. Установите ручку клапана прокачки в положение «Measure» («Измерение»).

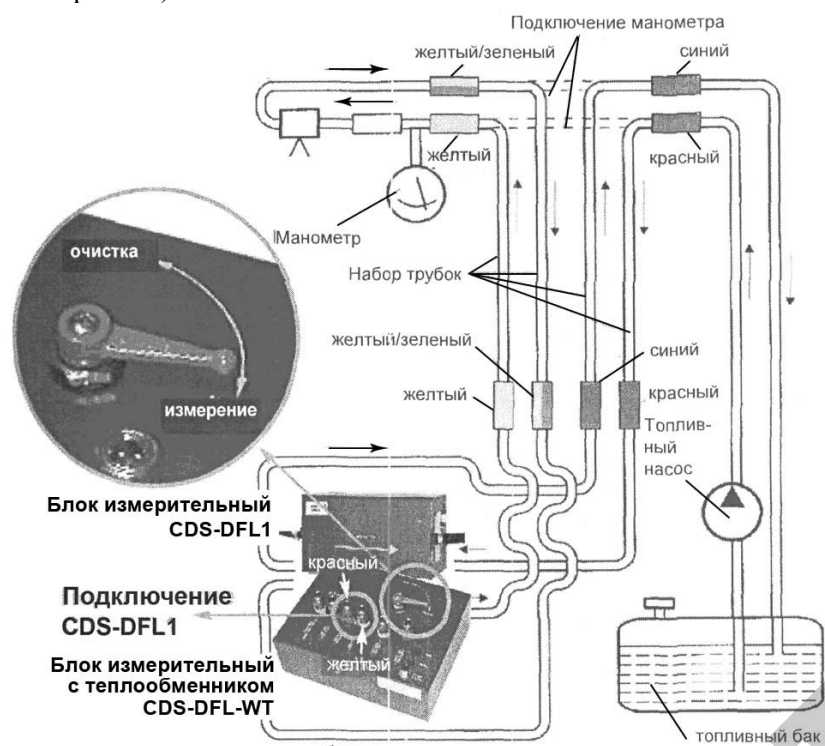


Рисунок 7 – Монтаж расходомера в системе питания двигателя с однофазным впрыском

Монтаж расходомера в системе питания двигателя с однофазным впрыском выполняется по следующему плану (рисунок 7):

1. Отсоедините топливопроводы подводящий и обратного слива и установите 4 соответствующие быстрозажимные муфты.
2. Закройте герметично трубку с помощью зажима, установите блок измерения в линию подачи.
3. Запустите двигатель и проверьте давление с помощью прибора для измерения давления.
4. Установите шланги и снимите зажимы с манометра.
5. Установите регулятор давления в соответствии с цветовой маркировкой трубок:

- красный – подача из бензобака;
- синий – возврат в бензобак;
- желтый – измерительный датчик;
- желтый/зеленый – возврат из системы впрыска.

6. Установите рукоятку в положение «Purge» («Прокачка») для прокачки системы, после чего запустите двигатель.

7. Осмотрите соединения на наличие течей, после чего проверьте манометром давление топлива в системе.

8. Установите рукоятку клапана прокачки в положение «Measure» («Измерение»). С помощью регулятора давления, настройте давление по показаниям манометра.

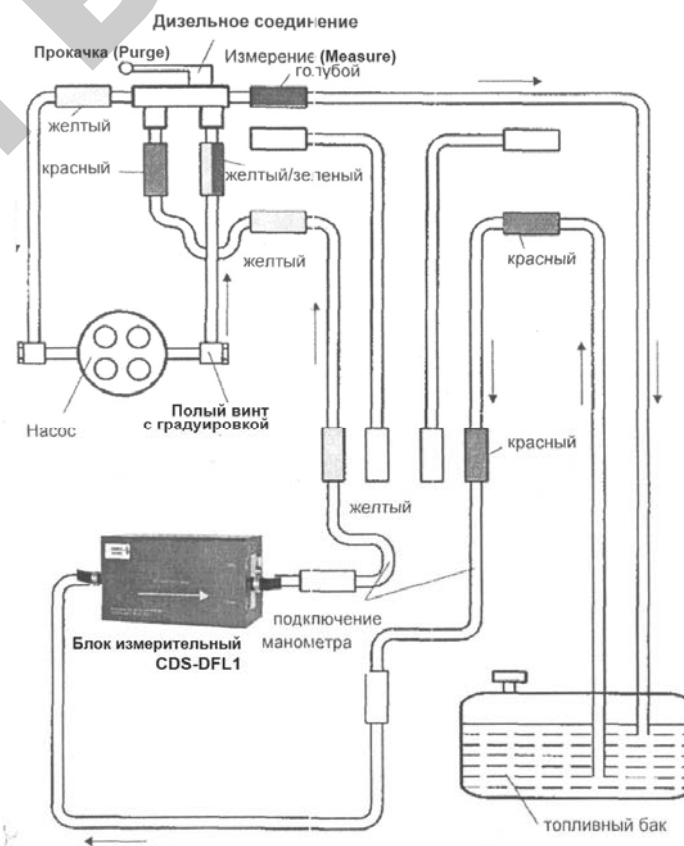


Рисунок 8 – Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с вращающимся насосом (для конструкций без теплообменника)

Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с роторным насосом (для конструкций без теплообменника) используется только для систем, в которых отсутствует слив топлива в бак, и выполняется по следующему плану (рисунок 8):

1. Отсоедините линии подачи и возврата и установите дизельное соединение для блока измерения CDS-DFL1.
2. Кран, соединяющий линию возврата с насосом, оборудован градуированным игольчатым клапаном. Убедитесь в том, что настройка крана не сбита. Не рекомендуется изменять его настройки.
3. Установите вентиль дизельного адаптера в положение, маркированное желтым цветом («Прокачка»).
4. Запустите двигатель.
5. Подождите 20 секунд, после чего установите клапан в положение, маркированное синим цветом («Измерение») и начните испытание.

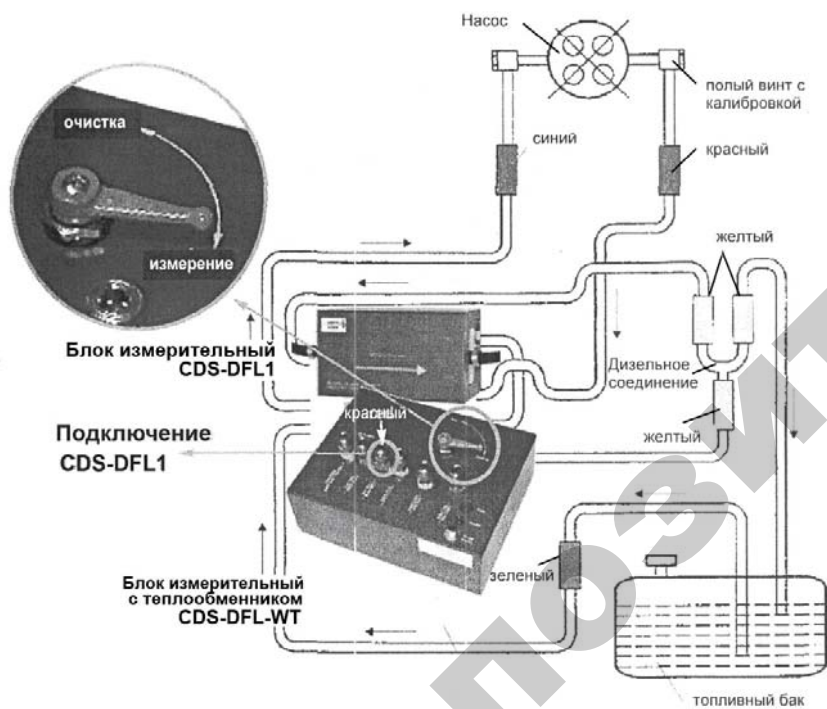


Рисунок 9 – Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с роторным насосом (конструкция с теплообменником)

Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с роторным насосом (конструкция с теплообменником) выполняется по следующему плану (рисунок 9):

1. Отсоедините линии подачи и возврата и установите дизельное соединение.
2. Кран, соединяющий линию слива с подающим насосом, оборудован градуированным игольчатым клапаном.
3. Не устанавливайте рукоятку в положение «Purge». Система произведет продув автоматически примерно через 1 минуту.

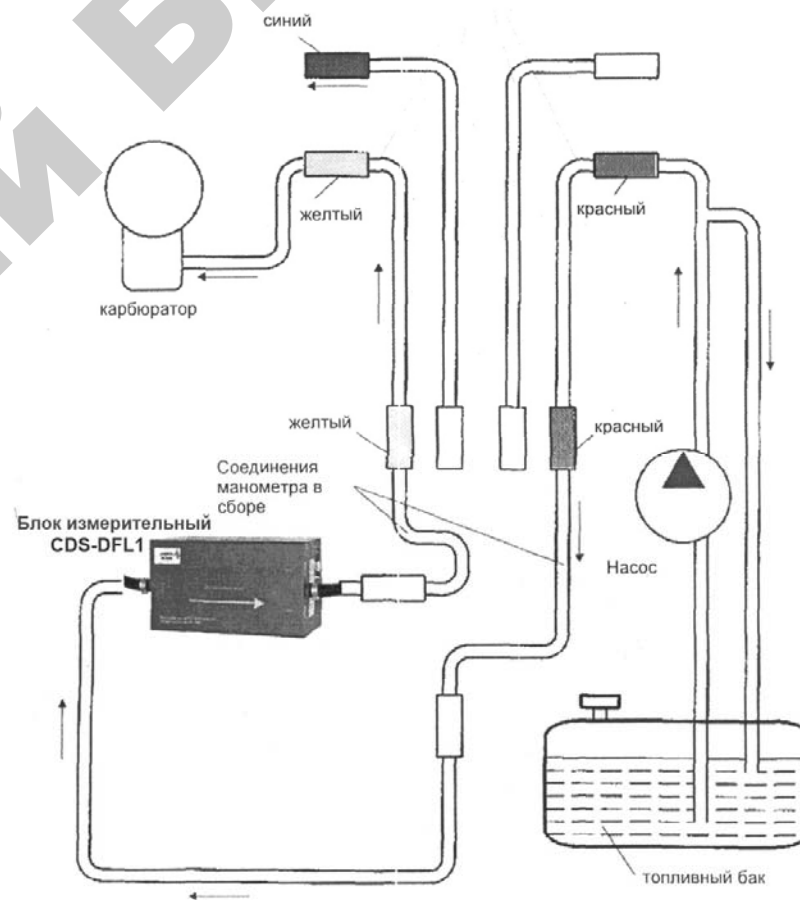


Рисунок 10 – Монтаж расходомера в системе питания карбюраторного ДВС

Монтаж расходомера в системе питания карбюраторного ДВС (для конструкций без теплообменника) используется только для систем, в которых отсутствует слив топлива в бак, и выполняется по следующему плану (рисунок 10):

1. Отсоедините линии подачи от бензонасоса в карбюратор и установите соединение для блока измерения CDS-DFL1.
2. Установите вентиль адаптера в положение, маркированное желтым цветом («Продув»).
3. Запустите двигатель.
4. Подождите 20 секунд, после чего установите клапан в положение, маркированное синим цветом («Измерение») и начните испытание.

Отметчики частоты вращения путеизмерительных и ведущих колес. Пройденный в процессе испытания трактора путь удобно замерять с помощью путеизмерительного колеса 8 (см. лабораторную работу 1, рисунок 1), которое устанавливают между передними и задними колесами для колесных или за трактором – для гусеничных тракторов. Путеизмерительное колесо крепят к трактору и прижимают пружиной к почве усилием, достаточным для обеспечения его качения без скольжения и буксования. На ступице колеса монтируется контактное или бесконтактное устройство, позволяющее за каждый оборот колеса несколько раз периодически посылать импульсы, которые регистрирует микропроцессор.

На рисунке 11, *а* показана одна из схем создания электрических импульсов. На колесе закрепляется диск 1 из изоляционного материала, на котором равномерно по окружности расположены токопроводящие пластины от 1 до 16 штук. Против вращающегося диска 1 устанавливают и фиксируют в неподвижном состоянии второй диск 3, также изготовленный из изоляционного материала. Он имеет два токопроводящих контакта, соединенных проводами с электрической цепью, в которую включены аккумуляторная батарея 4 и счетчик импульсов которым является микропроцессор.

Принципиальная схема бесконтактного устройства для замера частоты вращения показана на рисунке 11, *б*.

Бесконтактный отметчик частоты вращения работает следующим образом: в обычном положении ЭДС не генерируется, сигнал поступает от индуктивного датчика 1.

Вблизи полюсов датчика 1 (рисунок 11, *б*) проходит флажок 1 (рисунок 11, *а*) из магнитного материала, связанный с осью колеса. В катушках магнита наводится переменная ЭДС, поступает

сигнал и записывается отметка частоты вращения путеизмерительного колеса.

Для замера частоты вращения ведущих колес применяются аналогичные контактные или бесконтактные отметчики.

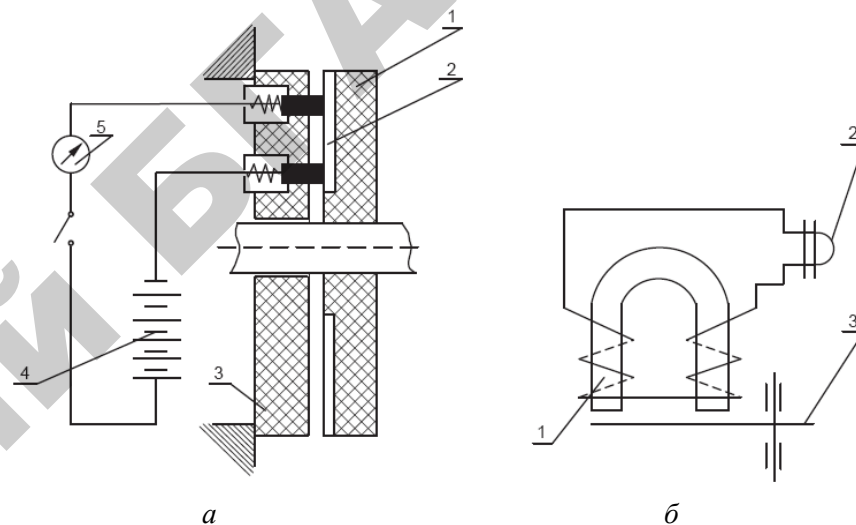


Рисунок 11 – Схема создания импульсов при определении частоты вращения колес: *а* – контактным; *б* – бесконтактным

Содержание отчета по работе

1. Привести принципиальную схему отображения и обработки измеряемых сигналов в *Spider8*.
2. Зарисовать схемы установки измерительного блока расхода топлива в различных системах питания топливом.
3. Изобразить схемы силоизмерительных и путеизмерительных датчиков, используемых при тяговых испытаниях.

Контрольные вопросы

1. Определите принципиальное назначение и опишите работу многоканального накопителя данных и измерительного усилителя *Spider8*.
2. Какие приборы используют для измерения (определения):
 - а) тягового усилия трактора;

ПОСТРОЕНИЕ ТЯГОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ

Цель работы: приобрести навыки построения и анализа тяговой характеристики трактора по экспериментальным данным.

Содержание работы

1. Тарирование тягового динамометра в составе измерительного комплекса *Spider8*

Для тарирования тезометрического силоизмерительного звена в комплексе со *Spider8* в программе «Catman» имеется встроенный модуль «Calibration». Интерфейс модуля представлен на рисунке 12.

Наименование единицы измерения	Тяговое усилие	CALIBRATION
	$P_{кр}$, кН	U_v , mV
	0	0
	10,1	5,1
	20,2	10,0
	29,8	15,2
	40,1	20,1
	50,2	24,9

Значение усилия $P_{кр}$, задаваемого на поверочном стенде и контролируемого образцовым динамометром

Величина сигнала U_v на выходе из тарированного динамометра

OPEN
открыть

SAVE
сохранить

CLOSE
закрыть

Рисунок 12 – Интерфейс модуля «Calibration» программы «Catman»

Для проведения тарирования тяговый динамометр закрепляется на поверочном стенде либо в разрывной машине последовательно с образцовым динамометром, имеющим точность как минимум на один класс точности выше, и подключается к *Spider8*. После загрузки на компьютере программы «Catman» активируется встроенный модуль «Calibration». В строки «Наименование» и «Единицы измерения» вводятся название измеряемой величины и обозначение единиц измерения, в которых в последующем будет удобно прово-

дить замеры. Затем на стенде задается усилие и показания образцового динамометра вносятся в левый столбец. После этого курсор переносится на соответствующую ячейку правого столбца и после двойного щелчка система автоматически определяет соответствующее значение выходного сигнала с динамометра в милливольттах. Затем операции повторяются на следующей ступени нагружения до достижения максимально допустимого усилия. На основании накопленных данных программа автоматически рассчитывает

масштабный коэффициент $\mu_{кр} = \frac{P_{кр}}{U_v}$ и при проведении тяговых ис-

пытаний отражает значения тягового усилия непосредственно в кН.

В случае линейности шкалы динамометра и отсутствия гистерезиса достаточно оттарировать только две точки: ноль и максимальное значение. При нелинейности $\mu_{кр} \neq const$ необходимо также снять несколько промежуточных точек, и чем их будет больше, тем точнее будут рассчитаны масштабные коэффициенты. При наличии гистерезиса динамометр подлежит ремонту вплоть до переклейки тензометрических датчиков. Основные сведения о калибровочном оборудовании и метрологических характеристиках динамометра общего назначения ДПУ-50-1-У2 приведены в лабораторной работе 5.

2. Тарирование отметчиков оборотов ведущих и путеизмерительных колес

Чтобы найти величину буксования *экспериментальным путем*, нужно замерять во время испытаний действительные радиусы качения ведущих колес r и теоретические радиусы r_k , по-

скольку $\delta = 1 - \frac{v}{v_T} = 1 - \frac{r}{r_k}$. По ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90)

на методы полевых испытаний сельскохозяйственных тракторов это требование выполняется следующим образом: действительный радиус качения определяется путем замера числа оборотов $n_{раб}$ ведущих колес за время прохождения мерного гона длиной S при работе в соответствующих почвенных условиях с заданной нагрузкой на крюке. Искомый радиус качения подсчитывается из соотношения:

$$S = 2\pi r n_{раб},$$

откуда

$$r = \frac{S}{2\pi n_{раб}}.$$

Точный замер теоретического радиуса затрудняется, во-первых, практической невозможностью создать условия движения ведущих колес без буксования, а во-вторых, тем, что величина этого радиуса зависит от действующей на колесо нормальной нагрузки, которая в процессе работы может меняться. Поэтому ГОСТ 30745–2001 установил **приближенный метод** определения теоретического радиуса ведущих колес, основанный на следующих двух допущениях:

1) принимается, что при установившемся холостом ходу трактора на горизонтальном участке ведущие колеса не буксуют;

2) считается, что теоретический радиус ведущих колес имеет на данном почвенном фоне постоянное значение, не зависящее от нагрузки на крюке и других условий движения.

Исходя из этих допущений, искомую величину теоретического радиуса определяют путем замера числа оборотов $n_{хол}$ ведущих колес за время прохождения ими на опытном участке мерного гона длиной S при движении трактора холостым ходом. Таким образом:

$$S = 2\pi r_k n_{хол},$$

откуда

$$r = \frac{S}{2\pi n_{хол}}.$$

Так как при работе трактора под нагрузкой ведущие колеса из-за буксования проходят за один оборот меньший путь, чем при движении вхолостую, то получаем следующее неравенство:

$$n_{раб} > n_{хол}.$$

Определив значения r и r_k , находим искомую величину буксования по формуле

$$r = 1 - \frac{r}{r_k} = 1 - \frac{n_{хол}}{n_{раб}} = \frac{n_{раб} - n_{хол}}{n_{раб}} \cdot 100\%.$$

Некоторое повышение точности замеров может быть достигнуто, если замерять число оборотов $n_{хол}$ при движении по твердой дорожке, где буксование ведущих колес на холостом ходу можно практически считать равным нулю. Хотя на твердой дороге радиальные деформации шин при прочих равных условиях несколько больше, чем на более мягких почвах, но вносимые этим погрешности перекрываются устранением буксования ведущих колес. Таким образом, величина теоретического радиуса при ее определении приближенным методом получается более близкой к действительности, чем при определении ее по методике, установленной ГОСТ 30745–2001.

3. Алгоритм расчета тяговых показателей трактора по результатам тяговых испытаний

Теоретическую скорость движения определяют из выражения

$$V_T = \frac{S_{теор}}{t_{оп}},$$

где $S_{теор}$ – теоретический путь опыта, м;

$t_{оп}$ – время опыта, с.

Теоретический путь опыта получают по формуле

$$S_{теор} = \frac{2\pi r_i n_i}{m_i},$$

где r_i – кинематический радиус качения колес трактора (для марки «БЕЛАРУС 2522» $r_n = 0,675$ м – передних и $r_k = 0,907$ м – задних);

m_i – количество импульсов за один оборот заднего колеса $m_k = 23$ и переднего $m_n = 8$;

n_i – число зафиксированных импульсов отметчика частоты вращения.

Среднюю рабочую скорость движения определяют как отношение действительного пути опыта ко времени работы (опыта):

$$V_p = \frac{S_{оп}}{t_{оп}}.$$

Путь опыта измеряют с помощью счетчика оборотов путеизмерительного колеса

$$S_{оп} = \frac{2\pi r_{пк} n_{пк}}{m_{пк}},$$

где $n_{пк}$ – число импульсов, зафиксированных счетчиком оборотов путеизмерительного колеса;

$r_{пк}$ – радиус качения путеизмерительного колеса, м;

$m_{пк}$ – количество импульсов за один оборот путеизмерительного колеса ($m_{пк} = 43$).

Тогда

$$V_p = \frac{2\pi r_{пк} n_{пк}}{m_{пк} t_p}.$$

Расход топлива в кг/ч получают из выражения

$$Q_T = 3,6 \frac{\Delta V \rho}{t_{оп}},$$

где ρ – плотность (объемная масса) топлива (для дизельного топлива $\rho = 0,85$ г/см³), г/см³;

ΔV – разность показаний за опыт измерителя объема топлива, см³.

Последнюю величину вычисляют по формуле

$$\Delta V = m_T \mu_T,$$

где m_T – количество отметок расхода топлива на измеряемом участке;

μ_T – масштаб расходомера топлива, см³/имп.

Среднюю тяговую мощность в кВт рассчитывают по формуле

$$N_{кр} = P_{кр} V_p \cdot 10^{-3}.$$

Удельный расход топлива в г/кВт·ч находят из следующего выражения:

$$g_{кр} = \frac{Q_T}{N_{кр}} \cdot 10^3.$$

Буксование δ в % для каждого движителя рассчитывают по формуле

$$\delta = 1 - \frac{n_0'}{n_0},$$

где n_0' , n_0 – частота вращения ведущего колеса при движении трактора без нагрузки и с нагрузкой на крюке при одной и той же длине гона, мин^{-1} .

Условный тяговый КПД трактора

$$\eta_{\text{тяг}} = \frac{N_{\text{кр}}}{N_e},$$

где N_e – максимальная мощность двигателя по регуляторной характеристике, кВт;

$N_{\text{кр}}$ – максимальная тяговая мощность на данной передаче, кВт.

По полученным расчетам строится тяговая характеристика трактора (рисунок 13).

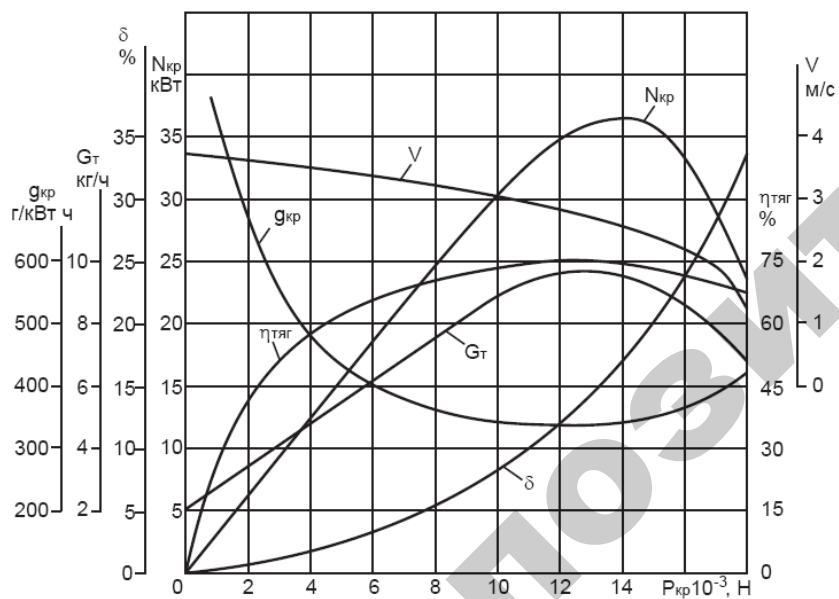


Рисунок 13 – Образец тяговой характеристики трактора, построенной по экспериментальным данным

Таблица 1.5 – Показатели, полученные при тяговых испытаниях трактора класса _____ на стерне озимой ржи

Степень нагрузки	U , В	n_s , отм	n_p , отм	m_T , отм	N_e , кВт	Параметры, определяемые по результатам испытаний									
						$P_{кр}$, Н	V_T , м/с	V_P , м/с	$N_{кр}$, кВт	Расход топлива		δ , %	$\eta_{тяг}$, %	Примечание	
										Q_m , кг/ч	$g_{кр}$, г/кВт·ч				
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

$m_n = 43$ об/отм
 $m_i = 23$ об/отм
 $\mu_T = 5$ см³/отм
 $\rho = 0,85$ г/см³

РЕПОЗИТОРИЙ БГДА

Пример анализа тяговой характеристики трактора

По мере роста тягового усилия на крюке трактора крюковая мощность пропорционально увеличивается от 0 до $N_{кр}^{max}$ кВт. Последнее примерно соответствует номинальному тяговому усилию для данного класса трактора. Это усилие трактор должен развивать на невзлущенной стерне нормальной влажности (15–18 %) и средней твердости (на черноземе или суглинке); при этом буксование ведущих органов у колесного трактора данного типа (4К2) не должно превышать 18 % (4К4 – 16 % и гусеничных – 5 %).

При увеличении тягового усилия свыше $P_{кр}^H$ тяговая мощность уменьшается, так как двигатель работает на перегрузочных режимах; частота вращения вала двигателя снижается, и скорость движения трактора резко уменьшается. Хотя усилие на крюке растет, из-за падения скорости тяговая мощность падает.

Содержание отчета по работе

1. Привести краткую методику обработки показаний датчиков и определения тяговых показателей по результатам испытаний.
2. Зарисовать образец тяговой характеристики с расшифровкой всех показателей.
3. Проанализировать величины показателей, полученных в результате тяговых испытаний: $P_{кр,ср}$, $V_{ср}$, $N_{кр}$, Q_T , $g_{кр}$, δ для двух-трех значений нагрузки.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели записывают в микропроцессоре при тяговых испытаниях трактора?
2. Расскажите порядок обработки показаний датчиков для расчета показателей тяговой характеристики: а) $P_{кр,ср}$; б) $V_{ср}$; в) $N_{кр}$; г) Q_m ; д) δ .
3. По каким зависимостям можно определить: $P_{кр,ср}$, $V_{ср}$, $N_{кр}$, Q_m , $g_{кр}$, δ ?
4. Какие параметры необходимо измерить при тяговых испытаниях, чтобы определить: а) $P_{кр,ср}$; б) $V_{ср}$; в) $N_{кр}$; г) Q_m ; д) $g_{кр}$; е) δ ?

Лабораторная работа 4

МЕТОДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Цель работы: изучить методы энергетической оценки машинных комплексов и самоходных сельскохозяйственных машин.

Содержание работы

1. Область применения

ГОСТ 24057–88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний» распространяется:

- на самоходные сельскохозяйственные машины с приводом от двигателя внутреннего сгорания;
- сельскохозяйственные машины навесные, полунавесные и прицепные, присоединяемые к трактору.

Стандарт устанавливает номенклатуру энергетических показателей и общие методы их определения при испытаниях вышеперечисленных типов машин.

2. Термины и определения

В стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

Технологическая операция – направленное воздействие на почву, сельскохозяйственную продукцию и другой технологический материал с целью достижения заранее намеченного изменения их свойств, состояния или формы.

Сельскохозяйственная машина – машина или орудие, осуществляющее воздействие на почву, растение, сельскохозяйственную продукцию и другой типологический материал.

Самоходная сельскохозяйственная машина – сельскохозяйственная машина, имеющая в своем составе источник энергии и привод на ходовое устройство, рабочие механизмы.

Машинно-тракторный агрегат (МТА) – сельскохозяйственный агрегат, состоящий из трактора и присоединяемых к нему сельскохозяйственных машин.

Трактор – самоходная машина на колесном или гусеничном ходу, приводимая в движение установленным на ней двигателем, предназначенная для приведения в действие присоединяемых к ней сельскохозяйственных машин (навесных, прицепных или полунавесных) и привода стационарных машин (агрегатов).

Энергетическая оценка – определение затрат энергии, потребляемой сельскохозяйственной машиной или агрегатом на выполнение технологических операций.

Технологический цикл – совокупность циклически повторяющихся и последовательно совершаемых технологических операций.

3. Общие положения

Энергетическую оценку сельскохозяйственных машин и агрегатов проводят с целью определения затрат энергии на выполнение технологических операций.

Количество режимов должно устанавливаться стандартами на машины конкретных типов.

При отсутствии в стандартах на машины конкретных типов указания на варианты режимов работы энергооценку проводят не менее, чем на трех режимах, при которых устойчиво выполняется технологический процесс.

Средства измерений должны быть поверены или калиброваны в соответствии с требованиями национальных стандартов.

Результаты испытаний записывают в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Форма для записи результатов испытаний

Показатель	Значение показателя
Режим работы: скорость движения, км/ч ширина захвата, м глубина хода рабочих органов, см производительность, га/ч (т/ч, т·км/ч) и др. в зависимости от типа машины	
Расход топлива, кг/ч	
Мощность, потребляемая машиной, агрегатом, кВт	
Удельные энергозатраты машины, МДж/га (МДж/т, МДж/т·км)	
Тяговое сопротивление машин, Н	
Мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов, кВт	

4. Показатели энергетической оценки и методы их определения

4.1. Показатели энергетической оценки

Расчетная схема современного почвообрабатывающе-посевного МТА показана на рисунке 14. Силовая передача современного МТА является трехпоточной. Мощность ДВС затрачивается на привод:

- колес трактора N_k ;
- рабочих органов сельскохозяйственного орудия через ВОМ $N_{\text{ВОМ}}$;
- рабочих органов сельскохозяйственного орудия с помощью ГСОМ $N_{\text{ГСОМ}}$.

На каждом режиме работы сельскохозяйственной машины или агрегата должны быть выполнены не менее четырех измерений каждой измеряемой величины, продолжительностью не менее 20 с.

При энергетической оценке сельскохозяйственных машин с приводом от двигателя внутреннего сгорания трактора определяют следующие показатели:

- часовой расход топлива G_T ;
- мощность, потребляемую сельскохозяйственной машиной, N_M ;
- удельные энергозатраты $E_{\text{уд}}$, МДж/га (МДж/т, МДж/т·м);
- тяговое сопротивление навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору $R_{\text{тяг}}$;
- мощность $N_{\text{ВОМ}}$ и $N_{\text{ГСОМ}}$, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин.

Показатели энергетической оценки самоходной сельскохозяйственной машины с приводом от двигателя внутреннего сгорания трактора:

- время опыта $t_{\text{оп}}$;
- количество топлива, израсходованного за время опыта $G_{\text{оп}}$;
- длину пути, пройденного самоходной машиной $S_{\text{оп}}$;

Показатели энергетической оценки навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин.

1) для машин без привода рабочих органов от трактора:

- время опыта $t_{\text{оп}}$;
- тяговое сопротивление при выполнении технологических операций $R_{\text{тяг}}$;
- длину пути, пройденного МТА за время опыта, $S_{\text{оп}}$;

2) для машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора дополнительно:

- крутящий момент вала отбора мощности $M_{\text{ВОМ}}$;
- частоту вращения вала отбора мощности $n_{\text{ВОМ}}$;

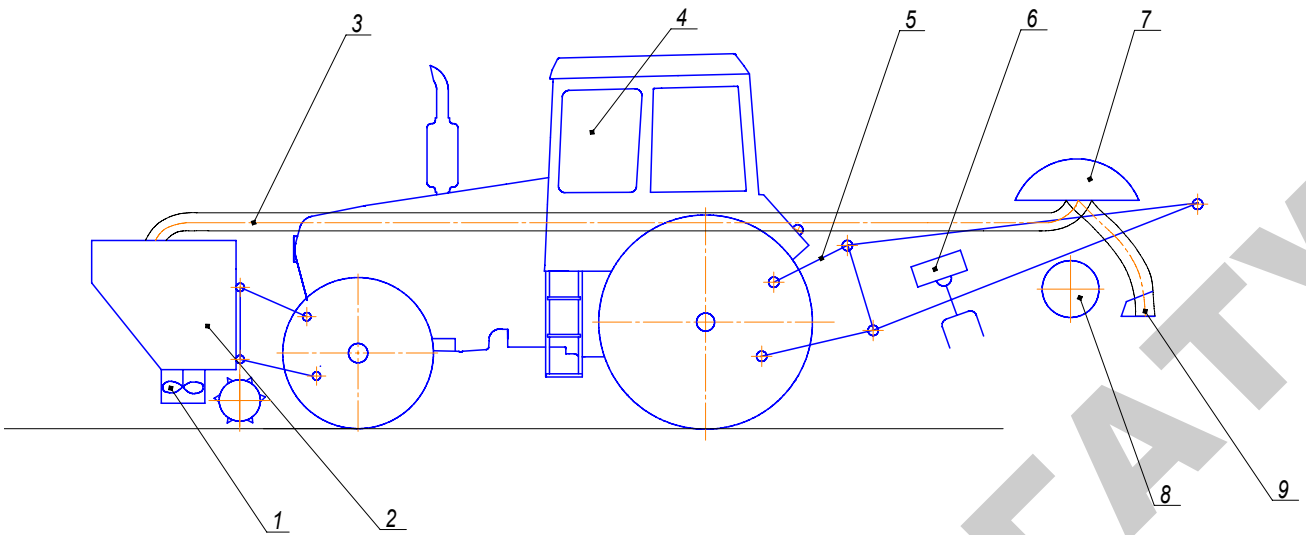


Рисунок 14 – Схема современного почвообрабатывающе-посевного агрегата в транспортном положении:
1 – гидромотор вентилятора; 2 – бункер для семян; 3 – трубопровод системы пневмотранспорта;
4 – трактор «БЕЛАРУС 2522ДВ»; 5 – навесное устройство; 6 – редуктор привода ротационного культиватора;
7 – пневматическая распределительная головка; 8 – гребнеобразователь; 9 – сошник

3) для машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы дополнительно к показателям пункта 1:

- расход рабочей жидкости, поступающей в механизмы привода рабочих органов, $Q_{ж}$;

- перепад давлений рабочей жидкости между входящей и выходящей линиями гидравлического привода Δp .

Допустимые погрешности измерений приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Допустимые погрешности измерений

Показатель	Относительная погрешность измерения
Время измерения $t_{оп}$, с	$\pm 0,2$
Длина пути $S_{оп}$, пройденная сельскохозяйственной машиной, %	$\pm 1,0$
Частота вращения $n_{ВОМ}$, %	$\pm 1,0$
Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины $R_{тяг}$, %	$\pm 2,5$
Количество израсходованного топлива за время опыта $G_{оп}$, %	$\pm 1,5$
Крутящий момент $M_{ВОМ}$, %	$\pm 2,5$
Давление рабочей жидкости p , %	$\pm 2,0$
Расход рабочей жидкости $Q_{ж}$, %	$\pm 2,0$

Информацию о месте и дате испытаний, условиях и режимах работы, марке испытуемой машины, результатах измерений регистрируют на носителе информации или заносят в журнал испытаний.

4.2. Определение показателей энергетической оценки

4.2.1. Определение потребляемой мощности

Мощность N_m , потребляемую самоходной сельскохозяйственной машиной с приводом от двигателя внутреннего сгорания трактора, определяют по регуляторной характеристике зависимости часового расхода топлива Q_t от N_e .

Регуляторная характеристика двигателя представлена в ГОСТ 30745–2001 и ГОСТ 30747–2001. Данный показатель следует определять перед проведением испытаний с установленным на сельскохозяйственных машинах или агрегатах устройством для измерения расхода топлива.

При загрузке двигателя внутреннего сгорания более, чем 100 % из двух значений мощности, полученных при одинаковом часовом

расходе топлива, выбирается то, которое соответствует измеренной частоте вращения коленчатого вала n_d .

Часовой расход топлива G_t в кг/ч вычисляют по формулам:

$$G_t = 3,6 \frac{G_{оп}}{t_{оп}},$$

$$G_t = 3,6 \frac{V_{оп} \rho}{t_{оп}},$$

где $t_{оп}$ – время измерения, с;

$V_{оп}$ – объем топлива, израсходованного двигателем самоходной сельскохозяйственной машины или трактора за время опыта, см³;

ρ – плотность топлива при стандартной температуре ($\rho = 0,85$ г/см³), г/см³.

Мощность, потребляемую навесными, полунавесными, прицепными, сельскохозяйственными машинами N_m в кВт вычисляют по формулам:

– для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов от трактора:

$$N_m = 10^{-3} R_{тяг} v,$$

где $R_{тяг}$ – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, Н;

$v_{тяг}$ – поступательная скорость движения, м/с;

– для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора

$$N_m = 10^{-3} R_{тяг} v + N_{ВОМ},$$

где $N_{ВОМ}$ – мощность привода рабочих органов от ВОМ, кВт;

– для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов

$$N_m = 10^{-3} R_{тяг} v + N_{ГСОМ},$$

где $N_{ГСОМ}$ – мощность гидравлического привода на рабочие органы, кВт.

Мощность, потребляемую навесными, полунавесными и прицепными сельскохозяйственными машинами N_m , допускается вычислять по формуле

$$N_m = N_{МТА} - N_{ft},$$

где $N_{МТА}$ – мощность, затрачиваемая МТА при выполнении технологических операций, кВт;

N_{ft} – мощность, потребляемая на самопередвижение трактора, кВт.

В этом случае при испытаниях дополнительно измеряют следующие показатели:

- частоту вращения коленчатого вала двигателя трактора n_d , мин⁻¹;
- объем топлива, израсходованного двигателем машинно-тракторного агрегата и трактора при движении его без сельскохозяйственной машины $V_{оп}$, см³.

Мощности $N_{МТА}$ и N_{ft} определяют по величинам часового расхода топлива $G_{т.а}$ и $G_{т.с}$ методом, изложенным в пункте «Определение мощности, потребляемой самоходной сельскохозяйственной машиной».

Мощность, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных, прицепных сельскохозяйственных машин вычисляют по формулам:

- для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от ВОМ трактора $N_{ВОМ}$ в кВт получают из выражения:

$$N_{ВОМ} = 1,047 \cdot 10^{-4} M_{ВОМ} n_{ВОМ},$$

где $M_{ВОМ}$ – крутящий момент на хвостовике вала отбора мощности, Н·м;
 $n_{ВОМ}$ – частота вращения хвостовика вала отбора мощности, об/мин;

- для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов N_r в кВт вычисляют по формуле

$$N_r = \Delta p Q_{ж},$$

где Δp – перепад давлений между входящей и выходящей гидравлическими линиями привода, МПа;

$Q_{ж}$ – расход рабочей жидкости, дм³/с.

4.2.2. Определение показателей энергетической оценки сельскохозяйственных машин или агрегатов с циклическим режимом работы

Среднюю мощность за время цикла N_{Mcp} в кВт вычисляют по формуле

$$N_{Mcp} = \frac{\sum_{i=1}^i N_M t_1}{t_u},$$

где N_M – мощность, потребляемая сельскохозяйственной машиной или агрегатом при выполнении технологической операции, кВт;

t_1 – время одной технологической операции, с;

t_u – время технологического цикла, с;

i – число технологических операций в цикле.

Мощность наиболее энергоемкой операции цикла N_{Mmax} в кВт вычисляют по формуле

$$N_{Mmax} = N_{Mimax}.$$

Поступательную скорость движения сельскохозяйственной машины v в м/с вычисляют по формуле

$$v = \frac{S_{оп}}{t},$$

где $S_{оп}$ – длина пути, пройденного сельскохозяйственной машиной за время опыта, м.

4.2.3. Определение тягового сопротивления навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору

Тяговое сопротивление навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин определяют прямым или косвенным измерением.

При определении мощности, потребляемой сельскохозяйственной машиной, по расходу топлива тяговое сопротивление R_M в Н вычисляют по формуле

$$R_M = 10^3 \frac{(N_{МТА} - N_{ВОМ} - N_{ft})}{v}.$$

Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины R_M в Н определяют по формуле

$$R_m = R_{MТА} - R_{гт},$$

где $R_{MТА}$ – тяговое сопротивление машинно-тракторного агрегата при выполнении технологических операций, Н;

$R_{гт}$ – тяговое сопротивление трактора при его движении без сельскохозяйственной машины, Н.

Удельные энергозатраты сельскохозяйственных машин и агрегатов $E_{уд}$ измеряют в МДж/га, МДж/т·км, МДж/кг.

$E_{уд}$ для сельскохозяйственных машин и агрегатов с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора вычисляют по формуле

$$E_{уд} = \frac{N_m}{W_0},$$

где W_0 – производительность машины, агрегата за час основного времени, га/ч; т·км/ч.

Результаты испытаний сельскохозяйственных машин или агрегатов по определению показателей энергетической оценки записывают в таблицу 1.6.

Содержание отчета по работе

1. Провести энергооценку машинно-тракторного агрегата.
2. Дать перечень показателей, замеряемых и рассчитываемых при энергооценке.
3. Заполнить форму результатов энергооценки.

Контрольные вопросы

1. Сколько потоков мощности передает силовая передача современного трактора?
2. Какие показатели энергетической оценки замеряют при выполнении технологических операций в следующих режимах:
 - для самоходных машин при движении без тяговой нагрузки;
 - для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности;
 - для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов?
3. Какие показатели рассчитывают по итогам энергетической оценки при выполнении технологических операций?

ТАРИРОВАНИЕ И КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Понятия и определения

Тарирование (от немецкого *tarieren*) – устаревшее название градуировки средств измерений, широко употреблявшееся применительно к приборам для изменения неэлектрических величин.

Калибровка мер – проверка меры или набора мер посредством совокупных измерений. Калибровка заключается в определении погрешностей или поправок совокупности мер или одной многозначной меры при различных сочетаниях мер или в различных диапазонах шкалы.

Калибровка осуществляется сравнением мер или участков шкалы, причем за основу для сравнения берется одна из мер или одно из значений шкалы.

Многие региональные и национальные стандарты других стран, например, Европейские нормы EN 45001 по аккредитации поверочных и испытательных лабораторий, предъявили обязательное требование – снабжать количественные результаты измерений значениями неопределенности.

В последнее десятилетие неопределенность стала единственной, наиболее полной и, самое главное, признанной на международном уровне характеристикой точности измерений.

С целью взаимного признания результатов измерений и гармонизации национальных требований и процедур с международными в Республике Беларусь с 01.01.2002 г. введен в действие национальный стандарт СТБ ИСО/МЭК 17025–2002 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий», представляющий собой аутентичный текст международного ISO/IEC 17025: 1999 General requirement for the competence of testing and calibration laboratories ISO, Geneva, 1999 г. Однако отечественные нормативные документы не используют понятие «неопределенность» и ориентированы на традиционный и устоявшийся подход, основанный на понятиях «погрешность» и «характеристики погрешности». Достаточно упомянуть стандарты на методы повер-

ки, методики выполнения измерений, методы испытаний, стандарты Государственной системы обеспечения единства измерений и др.

Неопределенность (измерения) – это параметр, связанный с результатами измерений и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Стандартная неопределенность – неопределенность результата выраженная как стандартное отклонение.

Суммарная стандартная неопределенность – стандартная неопределенность результата измерений, когда результат получают из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется в зависимости от изменения этих величин.

При этом используются следующие виды распределения вероятностей замеров:

- 1) прямоугольное;
- 2) треугольное;
- 3) трапецеидальное;
- 4) U-образное;
- 5) нормальное (Гаусса).

Формы этих распределений, формулы для нахождения стандартных неопределенностей, соответствующих этим распределениям, а также случаи их применения представлены в приложениях 2, 4.

Оценка (неопределенности) по типу А – метод оценивания неопределенности путем статического анализа ряда наблюдений.

Оценка (неопределенности) по типу В – метод оценивания неопределенности иным способом, чем статический анализ ряда наблюдений.

Расширенная неопределенность – величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Коэффициент охвата – числовой коэффициент, используемый как множитель суммарной стандартной неопределенности для получения расширенной неопределенности.

Расчет расширенной неопределенности

Суммарная стандартная неопределенность повсеместно используется для выражения неопределенности. По предложению Между-

народного комитета бюро мер и весов МКМВ дополнительной мерой неопределенности является расширенная неопределенность, обозначаемая U .

Расширенную неопределенность U получают путем умножения стандартной неопределенности выходной величины $u(y)$ на коэффициент охвата k :

$$U = ku(y).$$

В случае указания расширенной неопределенности результат измерений выражается в виде интервала $Y = y \pm U$, который можно также записать в виде $(y - U \leq Y \leq y + U)$. Данная запись означает, что наилучшей оценкой значения, приписываемого измеряемой величине Y , является y , и что интервал от $(y - U)$ до $(y + U)$ содержит, наибольшую часть распределения значений, которые можно с достаточным основанием приписать величине Y .

Значение коэффициента охвата k выбирается на основе уровня доверия p требуемого интервалом от $(y - U)$ до $(y + U)$, и для этого необходимо полное знание о распределении вероятностей значений выходной величины, характеризуемого оценкой выходной величины и ее стандартной неопределенностью.

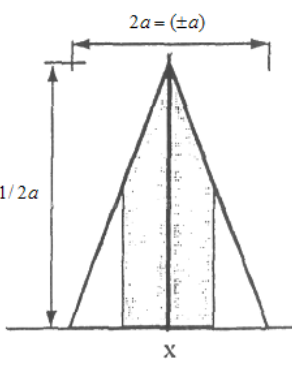
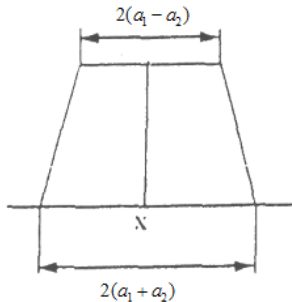
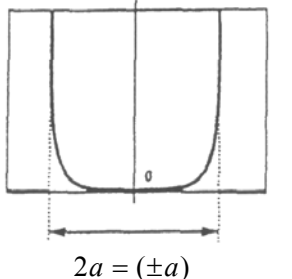
2. Функции распределения

Таблица 2.1 показывает, как рассчитать стандартную неопределенность, зная вид распределения значений измеряемой величины.

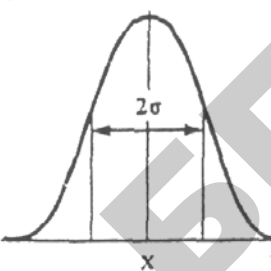
Таблица 2.1 – Функции распределения

Вид функции плотности вероятности	Используется, если	Стандартная неопределенность
Прямоугольное распределение		
	<p>Об измеряемой величине только известно, что ее значение наверняка лежит в определенной области и что каждое значение между границами этой области может приниматься в расчет с одинаковой вероятностью; Сертификат прибора или другой документ дает пределы без определения уровня доверия (например, 25 мл ± 0,05мл топлива); Оценка получена в форме максимальных значений диапазона ($\pm a$) с неизвестной формой распределения.</p>	$U(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$

Продолжение таблицы 2.1

Вид функции плотности вероятности	Используется, если	Стандартная неопределенность
Треугольное распределение		
	<p>Доступная информация относительно значений величины менее ограничена, чем для прямоугольного распределения. Значения возле среднего значения более вероятны, чем у границ;</p> <p>Оценка получена в форме максимальных значений диапазона ($\pm a$), описанного симметричным распределением вероятностей;</p> <p>Когда величина является суммой или разностью двух величин, распределение вероятностей значений которых являются прямоугольными с одинаковыми диапазонами.</p>	$U(x) = \frac{a}{\sqrt{6}}$
Трапецидальное распределение		
	<p>Значения возле границ менее вероятны, чем те, которые находятся возле центра (математического ожидания);</p> <p>Когда величина является суммой или разностью двух величин, распределение вероятностей значений которых являются прямоугольными с разными диапазонами ($\pm a_1$ и $\pm a_2$).</p>	$U(x) = \frac{a_1 + a_2}{\sqrt{6} \cdot \sqrt{1 + \beta^2}}$ $\beta = \frac{ a_1 - a_2 }{a_1 + a_2}$
U-образное распределение (арксинусоидальное распределение)		
	<p>Когда величина X изменяется по закону синуса $X = a \cdot \sin j$, где значения угла φ распределены равномерно в интервале от $-\pi$ до $+\pi$.</p>	$U(x) = \frac{a}{\sqrt{2}}$

Окончание таблицы 2.1

Вид функции плотности вероятности	Используется, если	Стандартная неопределенность
Нормальное распределение		
	<p>Оценка получена из повторных наблюдений случайно изменяющегося процесса;</p> <p>Неопределенность дана в форме:</p> <ul style="list-style-type: none"> - стандартного отклонения наблюдений S, - относительного стандартного отклонения s / \bar{x}, - коэффициента дисперсии CV% без установления вида распределения <p>Неопределенность дается в форме 95%-го или другого интервала доверия Q без указания вида распределения</p>	$U(x) = s$ $U(x) = s$ $U(x) = \frac{s}{\bar{x}}$ $U(x) = \frac{CV\%}{100} \cdot \bar{x}$ $U(x) = Q / 2$ Для Q при 95%

3. Определение отклонений показаний калибруемого прибора и его расширенной неопределенности

Погрешность показаний калибруемого прибора определяется следующим образом:

$$\Delta F = F_{iu} - F_3 + \Delta F_3 + \Delta F_0,$$

где ΔF – погрешность показаний калибруемого прибора;
 F_{iu} – показания, измеренное калибруемым прибором;
 F_3 – показания эталонного прибора;
 ΔF_3 – погрешность эталонного прибора;
 ΔF_0 – погрешность оператора, Н.

4. Методика обработки результатов измерений и расчета неопределенности измерений

Исходными данными для вычислений являются результаты измерений.

За оценку входной величины F_u принимают *среднее арифметическое значение* из n независимых измерений

$$\bar{F}_u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{iu},$$

где F_{iu} – показания калибруемого прибора для i -го измерения.

Экспериментальную дисперсию измерений определяют по формуле

$$S^2(F_{iu}) = \frac{\sum_{i=1}^n (F_{iu} - \bar{F}_u)^2}{n-1}.$$

Экспериментальное стандартное отклонение равно положительному квадратному корню из значения дисперсии измерений:

$$S(F_{iu}) = \sqrt{S^2(F_{iu})}.$$

Экспериментальная дисперсия и экспериментальное стандартное отклонение характеризуют изменчивость (варьируемость) наблюдаемых значений относительно F_u .

Дисперсия имеет размерность, равную квадрату размерности измеряемой величины, и практически не используется при обработке результатов измерения. Стандартное отклонение имеет такую же размерность, как измеряемая величина.

Стандартная неопределенность, связанная с оценкой среднего значения измерения F_u , является экспериментальным стандартным отклонением среднего значения и равна положительному квадратному корню из экспериментальной дисперсии среднего значения:

$$u(\bar{F}_u) = S(\bar{F}_u) = \sqrt{\frac{S^2(F_{iu})}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (F_{iu} - \bar{F}_u)^2}.$$

Стандартная неопределенность имеет такую же размерность как измеряемая величина. Данный показатель определяют методами вариационной статистики (вычисляются среднее значение, среднее квадратическое отклонение и т. д. без ссылки на закон распределения случайной величины).

5. Оценка неопределенности

Для оценки входной величины X_i , которая не была получена из повторных наблюдений, используется априорная информация (значения из других, ранее проведенных измерений; данные производителя; значения, содержащиеся в свидетельствах о калибровке; неопределенности, связанные со справочными значениями из справочной литературы и др.) и постулируется равномерный закон распределения вероятностей значений этой величины в указанных границах $(+a, -a)$.

Для симметричных границ стандартная неопределенность по типу В определяется по формуле

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}.$$

Вклады неопределенностей, связанные с оценкой выходной величины y , равны

$$u_i(y) = c_i u_i(x_i),$$

где $c_i = \frac{df}{dx_i}$ – коэффициент чувствительности.

Измерения прямые, поэтому коэффициенты чувствительности равняются 1 для каждой входной величины.

Суммарная стандартная неопределенность – стандартная неопределенность результата измерений, когда результат получают из ряда входных величин. Она равна положительному квадратному корню из суммы дисперсий этих входных величин.

В случае некоррелированных входных величин суммарная стандартная неопределенность равна

$$u_c(\Delta F_u) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(F)} = \sqrt{u^2(\bar{F}_u) + u^2(F_s) + u^2(\Delta F_s) + u^2(\Delta F_o)}.$$

Расширенную неопределенность измерений $U(F)$ получают путем умножения суммарной стандартной неопределенности выходной величины $u_c(\Delta F)$ на коэффициент охвата:

$$U(\Delta F) = k u_c(\Delta F),$$

где k – коэффициент охвата.

МЕТОДИКА ТАРИРОВАНИЯ И КАЛИБРОВКИ ДИНАМОМЕТРА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДПУ-50-1-У2

Цель работы: изучить понятие и назначение тарирования и калибровки средств измерений, неопределенности измерений, а также методику проведения калибровки динамометра общего назначения ДПУ-50-1-У2.

Содержание работы

Методика устанавливает требования к методам и средствам калибровки, оформлению результатов калибровки, регламентирует алгоритм оценки неопределенности измерения значения тягового усилия калибруемым динамометром.

Основные сведения о калибровочном оборудовании приведены в приложении 1.

1. Операции и средства калибровки

При проведении калибровки динамометра ДПУ-50-1-У2 выполняются операции и применяются средства калибровки, указанные в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Необходимые операции и применяемые средства при калибровке динамометра

Операция	Средства калибровки и их основные метрологические характеристики
1. Подготовка к калибровке	—
2. Внешний осмотр	—
3. Опробование (проверка функционирования)	Стенд ТУД-5 для градуировки и поверки тяговых динамометров Динамометр образцовый сжатия ДОСМ-3-5 ГОСТ 9500–84, 5,0–50,0 кН, 3-й разряд
4. Определение метрологических характеристик. Определение погрешности показаний динамометра ДПУ-50-1-У2	Стенд ТУД-5 для градуировки и поверки тяговых динамометров Динамометр образцовый сжатия ДОСМ-3-5 ГОСТ 9500–84, 5,0–50,0 кН, 3-й разряд

Предполагается, что распределение возможных значений измеренной величины является нормальным и значение коэффициента k принимается равным 2 при уровне доверия 0,95.

Конечный результат измерения состоит из оцененного значения погрешности измерения калибруемым прибором ΔF_u и приписанной расширенной неопределенности $U(\Delta F)$ в форме $(\Delta F \pm U) = H$ ($k = 2, p = 95 \%$).

Процентный вклад неопределенности определяется по формуле

$$u_i (\%) = \frac{u_i^2 (F)}{u_c^2 (\Delta F_u)} \cdot 100 \%$$

Результаты расчетов заносят в бюджет неопределенности (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Бюджет неопределенности

Величина X_i	Единица измерений	Значение оценки x_i	Интервал $+/-r$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Степень свободы ν	Коэффициент чувствительности c_i	Вклад неопределенности $u_1(y)$	Процентный вклад, %
X_i		x_i				$u(x_i)$		c_i	$u_1(y)$	
...			
X_n		x_n				$u(x_n)$		c_i	$u_n(y)$	
Y		y				$u(y)$				

Полный результат измерений состоит из оценки y измеряемой величины Y и расширенной неопределенности U в форме $Y = y \pm U$ с указанием единиц измерений для Y и y .

2. Проведение калибровки

Опробование (проверка функционирования). При опробовании калибруемый динамометр 1 устанавливается на стенд 4 при помощи соответствующих серыг и пальцев (рисунок 15). При этом один конец звена следует присоединить к серье нижней опоры стенда, а другой подвесить к реверсивной скобе. Установить ноль на индикаторе динамометра. Вращением штурвала 5 стенда 4 добиться изменения показателей образцового динамометра 2. Штурвал 6 должен вращаться плавно, без заеданий.

При опробовании также проверяется диапазон нагрузок.

Вращением штурвала 6 стенда необходимо добиться показания образцового динамометра 2 равного 50,0 кН. При этом не должно наблюдаться деформаций реверсивных скоб, серыг и пальцев.

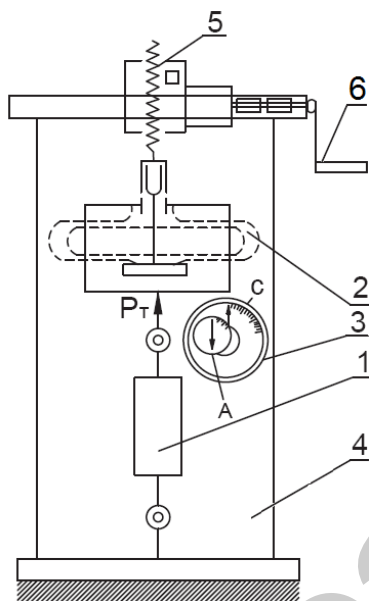


Рисунок 15 – Схема калибровки тягового динамометра:

1 – динамометр ДПУ-50-1-У1; 2 – образцовый динамометр ДОСМ-3-5; 3 – индикатор; 4 – стенд ТУД-5; 5 – шпindel червячного редуктора; 6 – штурвал

3. Определение метрологических характеристик

Определение погрешности показаний динамометра ДПУ-50-1-У2 и расширенной неопределенности выполняются путем сравнения

показаний калибруемого динамометра с показаниями динамометра образцового ДОСМ-3-5, подвешиваемого на шпindel с помощью реверсивных скоб, служащих для преобразования растяжения в усилие сжатия.

Динамометры ДПУ-50-1-У2 при испытаниях сельскохозяйственной техники применяют с тракторами класса 1,4; 2,0; 3,0 и 4,0. Калибровка динамометра производится на двух ступенях нагружения 20 и 40 кН (40 и 80 % от максимального диапазона нагрузок).

На каждой ступени нагружения (20 кН и 40 кН по шкале образцового динамометра) проводят по 10 наблюдений за показаниями калибруемого динамометра при монотонном увеличении растягивающего усилия F_{jin} (нагрузка).

Результаты измерений, зарегистрированные калибруемым динамометром на каждой ступени нагружения, записывают в протокол калибровки (приложение 2, таблица П.2.2).

В соответствии с методикой тарировки, описанной в лабораторной работе 3, рассчитываем масштаб измерений $\mu_{кр} = \frac{P_{кр}}{U_v}$.

Средний масштаб динамографа в кН/мВ определяют по следующей формуле:

$$\mu_{ср} = \frac{\sum \mu_{кр}}{5}.$$

По пяти текущим значениям масштаба $\mu_{кр}$ определяется действительное значение $\mu_{ср}$ как среднее арифметическое из пяти измерений. Это и будет искомое значение масштаба.

Затем определяется абсолютная максимальная Δ_{max} и относительная $\delta_{отн}$ погрешности измерения в кН/мВ

$$\Delta_{max} = \mu_{кр,max} - \mu_{ср} \text{ или } \Delta_{max} = \mu_{ср} - \mu_{кр,min}$$

где $\mu_{кр,max}$ и $\mu_{кр,min}$ – максимальное и минимальное текущие значения масштаба динамографа соответственно.

Максимальная погрешность определяется по одной из вышеприведенных зависимостей с тем, чтобы получить наибольшую абсолютную величину погрешности.

Относительная погрешность измерения

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{\mu_{\text{ср}}} \cdot 100 \%$$

По относительной погрешности делается вывод о пригодности динамометра к проведению тяговых испытаний, сравнивая полученное значение с допустимой погрешностью измерения $P_{\text{кр}}$ (таблица 1.4) из лабораторной работы 1.

Полученные данные сводятся в таблицу 2.4, и строится тарировочный график $h = f(P_T)$ (рисунок 16).

Таблица 2.4 – Результаты тарирования тягового динамометра

Нагрузка, $P_{\text{кр}}$, кН	Ордината отклонения			Масштаб, $\mu_{\text{кр}}$ кН/мВ	Погрешность измерений	
	при нагрузке	при разгрузке	средняя		Δ_{max} , Н/мВ	$\delta_{\text{отн}}$, %
10						
20						
30						
40						
50						

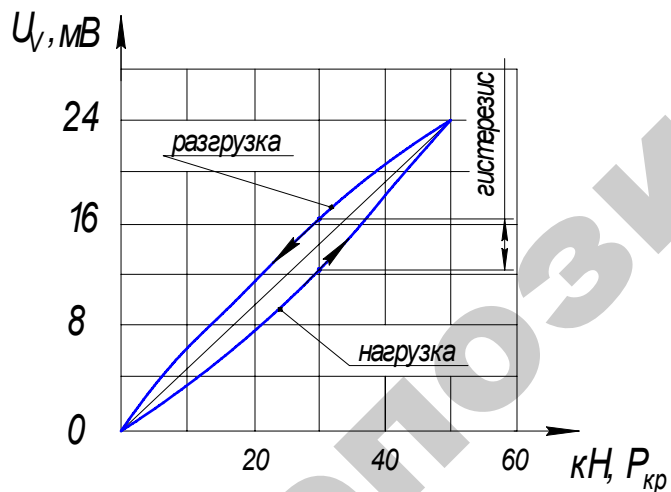


Рисунок 16 – Тарировочный график динамометра

Содержание отчета по работе

1. Привести схему и описание стенда для калибровки динамометра ДПУ-501-У2.
2. Описать методику расчета масштаба измерений.
3. Привести результат эксперимента и описать методику расчета неопределенностей.
4. Рассчитать процентные вклады неопределенностей калибруемого динамометра, эталонного динамометра и оператора.
5. Рассчитать расширенные неопределенности и погрешности измерений.

Контрольные вопросы

1. Как создают усилие растяжения калибруемого динамометра?
2. Что представляет собой эталонный динамометр?
3. Как определяют масштаб записи тягового усилия трактора?
4. Как определяют пригодность динамометра для применения в тяговых испытаниях?

Лабораторная работа 6

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА «Flow-FCS3-250»

Цель работы: изучить понятие и назначение калибровки средств измерений, неопределенности измерений, а также методику проведения калибровки расходомера топлива «Flow-FCS3-250».

Содержание работы

Методика устанавливает требования к методам и средствам калибровки, оформлению результатов калибровки, регламентирует алгоритм оценки неопределенности измерения действительного значения расхода топлива.

Основные сведения о калибруемом средстве измерения приведены в приложении 3.

1. Операции и средства калибровки

При проведении калибровки расходомера «Flow-FCS3-250» выполняются операции и должны применяться средства измерений, указанные в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Необходимые операции и применяемые средства при калибровке расходомера топлива

Операции	Средства калибровки и их основные метрологические характеристики
1. Подготовка к калибровке	—
2. Внешний осмотр	—
3. Опробование (проверка функционирования)	Стенд ИП-165, емкость мерника топлива 1000 мл, погрешность измерений топлива мерником $\pm 0,5\%$, погрешность регистрации продолжительности измерения ± 2 с; Счетчик расхода топлива ИП-179, погрешность измерений $\pm 1,5\%$
4. Определение метрологических характеристик. Определение цены импульса измерения расхода топлива и погрешности расходомером «Flow-FCS3-250»	Стенд ИП-165, емкость мерника топлива 1000 мл, погрешность измерений топлива мерником $\pm 0,5\%$, погрешность регистрации продолжительности измерения ± 2 с; Счетчик расхода топлива ИП-179, погрешность измерений $\pm 1,5\%$; Секундомер СОС пр 26-2, кл.т. 2

Стенд ИП-65 предназначен для поверки счетчиков расхода топлива ИП-154 и ИП-179 с непосредственным измерением топлива, а его автоматика «пуска» и «остановки» работает в зависимости от показаний этих счетчиков при заполнении емкости (1000 ± 30) мл. Калибровка расходомера «Flow-FCS3-250» при помощи стенда ИП-165 может проводиться только при одновременном подключении к стенду калибруемого расходомера с автономным питанием и ранее поверенного счетчика расхода топлива ИП-179 при подключении калибруемого расходомера «Flow-FCS3-250» в последовательную цепь перед датчиком счетчика ИП-179.

2. Требования безопасности

При проведении калибровки расходомера топлива «Flow-FCS3-250» на стенде ИП-165 должны быть соблюдены следующее требование безопасности: в связи с тем, что стенд питается от силовой сети напряжения 380 В и частотой 50 Гц, перед началом работы необходимо обязательно проверить надежность подключения стенда к контуру заземления.

Подключение счетчика расхода топлива ИП-179 производится при включенном тумблере «Питание» на переключающем устройстве счетчика топлива.

Не допускается установка и подключение кабелей с поврежденной изоляцией.

К работе со стендом допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие группу допуска по электробезопасности не ниже второй.

3. Поверка датчика расхода ИП-151-1 при помощи поверочного стенда ИП-165

После установки счетчика расхода топлива стенда ИП-179 на стенд включается питание стенда, программного блока и счетчика расхода топлива.

Тумблер S2 «Счет», расположенный на радиаторе блока электронного 8, должен быть включен в положение «Пуск». Топливо из мерника 7 стенда должно быть слито. Кран 5 установки величины расхода стенда открывается примерно на одну треть. При помощи регулятора напряжения на программном блоке стенда ИП-165 устанавливают стрелку вольтметра на 12 В. Переключателем программы указывают число циклов опыта 100 ходов поршня (рисунок 17).

Кнопкой «Пуск» включают опыт и после его окончания снимают показания мерника 7 и измерителя времени.

После установки величины расхода (например, 30 ± 5 л) сливают топливо из мерника 7 в течение двух минут (120 с по измерителю времени), при помощи кнопки «Пуск» включают опыт. На стенде ИП-165 время слива отсчитывается автоматически. После окончания опыта снимают показания мерника, измерителя времени и счетчика ходов поршня.

Объем топлива, соответствующий одному импульсу на счетчике (цена импульса), в $\frac{\text{см}^3}{\text{имп}}$ определяют по формуле

$$C = \frac{Q_{\text{фак}}}{N},$$

где $Q_{\text{фак}}$ – количество топлива за опыт, см^3 ;

N – количество импульсов счетчика ходов поршня расходомера, имп.;

C – цена импульса.

Среднюю цену импульса определяют следующим образом: проводятся трехкратные измерения в 3-х точках всего диапазона расходов (5; 50; 100 л/ч), после чего вычисляют среднее значение цены импульса на каждом расходе:

$$C_{\text{ср.}i} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_i}{3},$$

где $C_{\text{ср.}i}$ – среднее значение цены импульса на точке расхода.

Затем определяют среднее значение цены импульса для всего диапазона расходов топлива (5–100 л/ч)

$$C_{\text{ср.д}} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{\text{ср.}i}}{3}.$$

Относительную погрешность измерения в каждом из опытов рассчитывают по формуле

$$\delta = 100 \left(\frac{C_i N_i - V_m}{V_m} + K \right),$$

где C – цена импульса датчика 4 расхода топлива ИП-151-1;

N_i – показания счетчика 10 ходов поршня;

K – поправка, учитывающая разность температур топлива в мернике счетчика расхода топлива (при поверке на стенде ИП-165 не учитывается).

После проведения опытов на одном расходе устанавливают новую величину расхода и проводят следующую серию опытов.

В качестве относительной погрешности измерения счетчика расхода топлива принимают максимальную относительную погрешность (по модулю) из всех опытов, которых должно быть не менее девяти. Относительная погрешность измерения не должна превышать 1,5 %.

4. Поверка датчика расхода ИП-151-1 при помощи установки, собранной по схеме рисунка 17

Установка величины расхода. На электронном блоке включается тумблер питания. Открывается кран 2, кран 5 открывается примерно на одну треть, под сливную устанавливается мерная колба 7, открывается запорный кран 6 и одновременно запускается секундомер.

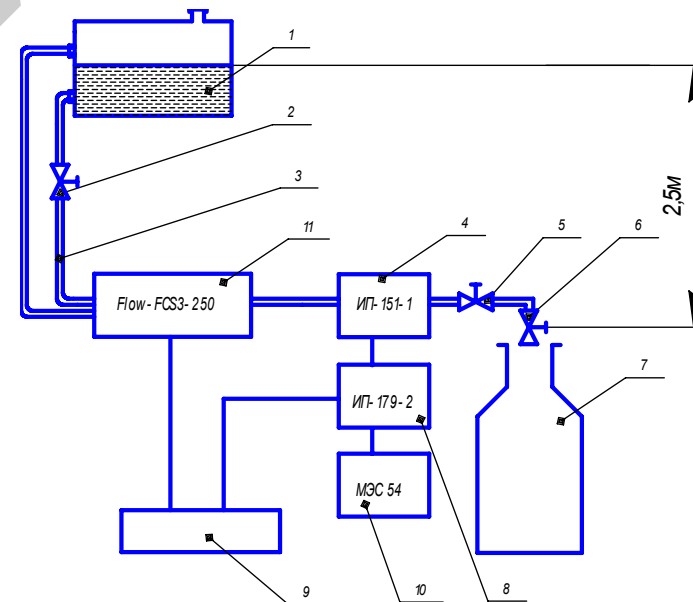


Рисунок 17 – Блок схема стенда ИП-165 для калибровки расходомера: 1 – емкость для топлива; 2 – кран запорный; 3 – топливопровод; 4 – датчик ИП-151-1; 5 – кран регулировочный; 6 – кран запорный; 7 – мерная емкость; 8 – блок электронный ИП-179-2; 9 – источник питания 12 В; 10 – счетчик электрических импульсов; 11 – расходомер «Flow-FCS3-250»

После поступления в колбу одного литра топлива останавливают секундомер и закрывают кран 6.

Если величина расхода отличается от указанной в паспорте стэнда, то при помощи крана 5 изменяют величину расхода и вновь повторяют опыт.

5. Определение погрешности измерения

После установки величины расхода (например, 30 ± 5 л) под сливную трубу устанавливают мерник, предварительно смоченный топливом.

Счетчик импульсов 10 устанавливают на нуль и открывают полностью кран 6. После достижения уровнем топлива отметки 5 литров кран 6 закрывают. Снимают показания счетчика топлива 10 и мерника 7. Если уровень топлива в мернике не соответствует отметке 5 литров, то количество топлива, поступившего в мерник, уточняют доливом (или отливом) при помощи мерного цилиндра. На каждом расходе проводят по три опыта.

Относительную погрешность измерения в каждом из опытов вычисляют по формуле, описанной в п. 3 «Поверка датчика расхода ИП-151-1 при помощи поверочного стэнда ИП-165».

В качестве относительной погрешности измерения датчика расхода 4 топлива принимают максимальную относительную погрешность (по модулю) из всех опытов, которых должно быть не менее девяти.

6. Проведение калибровок расходомера «Flow-FCS3-250»

Перед проведением калибровки необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- подсоединить подводящий топливопровод и топливопровод обратного слива расходомера «Flow-FCS3-250» к топливному баку стэнда ИП-165 согласно схеме стэнда, а отводящий – к датчику счетчика ИП-179;

- подключить питающий электрический кабель расходомера «Flow-FCS3-250» к аккумуляторной батарее 12 В (6 СТ 180);

- соединить кабелем электронный блок и датчик расхода ИП-179, а его отводящий топливопровод подключить к стэнду согласно схемам ИП-179 и стэнду;

- одиночным проводом, имеющим на одном конце пружинный контакт, а на другом – штекерный, соединить клемму « \perp » (общий провод) стэнда и клемму «масса» кабеля счетчика ИП-179.

Опробование (проверка функционирования). Включить питание стэнда ИП-165, питание счетчика ИП-179, питание и включатель насоса перекачивание топлива расходомера «Flow-FCS3-250».

При нормальной работе датчика счетчика топлива ИП-179 светодиод на табло должен периодически включаться.

Переключателем тумблера «Счет» обнулить счетчик ходов поршня счетчика ИП-179.

Нажать кнопку «Слив» на стэнде. После окончания слива гаснет лампа «Слив».

Переключить тумблер S2 «Счет» электронного блока счетчика расхода топлива ИП-179 в положение «Стоп».

Измерение начинать одновременным нажатием кнопки «Пуск» на электронном блоке стэнда и переключением тумблера S2 в положение «Пуск».

По окончании измерения одновременно с остановкой опыта на стэнде включить тумблер S2 в положение «Стоп».

Снять показания с табло стэнда и с табло электронного счетчика путем нажатия кнопки «Индикация». Разница в показаниях не должна превышать 1 импульс.

Установка величин расхода топлива. После установки расходомера топлива «Flow-FCS3-250» и счетчика расхода топлива ИП-179 на стэнд ИП-165 включается питание стэнда, программного блока и счетчика расхода топлива ИП-179.

Тумблер S2 «Счет», расположенный на радиаторе блока электронного счетчика ИП-179, должен быть включен в положение «Пуск». Топливо из мерника стэнда должно быть слито. Кран 5 установки значения расхода стэнда открывают примерно на одну треть. При помощи регулятора напряжения на программном блоке стэнда ИП-165 устанавливают стрелку вольтметра на 12 В. Переключатель программы устанавливают на 100 ходов поршня.

Нажатием на кнопку «Пуск» начинают измерение и после его окончания снимают показания мерника и измерителя времени.

Значение расхода топлива рассчитывают по формуле

$$G = \frac{3,6V_m}{t},$$

где G – расход топлива через датчик, л/ч;

V_m – объем топлива в мернике, мл;

t – показания измерителя времени, с.

Если значение расхода не соответствует требуемому значению (например, 30 ± 5 л/ч), то при помощи крана установки расхода топлива стенда изменяют значение расхода и вновь повторяют измерение.

Определение метрологических характеристик расходомера «Flow-FCS3-250». Основными метрологическими характеристиками счетчика расходомера топлива «Flow-FCS3-250» являются цена импульса и относительная погрешность измерения объема топлива. Их определение производится с помощью стенда ИП165 для градуировки и поверки датчиков топлива в 3–4 точках рабочего диапазона измерения расхода: (5 ± 2); (30 ± 5); (60 ± 5) и (90 ± 5) л/ч.

Определение цены импульса расходомера топлива «Flow-FCS3-250». Прибор «Flow-FCS3-250» настраивают на прямые измерения текущего расхода топлива в литрах. Включатель блока индикации расходомера топлива «Flow-FCS3-250» устанавливают в положение «ON».

После установки одной из требуемых величин расхода топлива с помощью стенда ИП-165 сливают топливо из мерника. Измерения начинают одновременным нажатием кнопки «Пуск» на электронном блоке стенда и импульсной кнопки включателя на блоке индикации расходомера топлива «Flow-FCS3-250». По окончании измерения одновременно с установкой процесса измерения на стенде нажатием импульсной кнопки выключается блок индикации калибруемого расходомера.

После окончания измерения снимают показания мерника, измерителя времени и показания с табло блока индикации расходомера «Flow-FCS3-250».

На одной величине расхода производят не менее трех измерений.

Результаты измерений заносятся в протокол калибровки (приложение 4, таблица 1).

После проведения опытов на одном расходе устанавливают следующую величину расхода и проводят следующую серию опытов.

Для определения объема топлива, соответствующего одному импульсу, измеряют количество топлива, пропущенного через датчик расхода топлива, с одновременной регистрацией количества импульсов за время измерения.

Объем топлива, соответствующий одному импульсу на блоке индикации (цена импульса), определяют по формуле:

$$C = \frac{V_m}{N_i},$$

66

где V_m – количество топлива за время измерения, мл;

N_i – количество импульсов за время измерения, имп.;

C – цена импульса, мл/имп.

Среднюю цену импульса определяют следующим образом: проводятся трехкратные измерения в точках всего диапазона расходов (5; 30; 60 и 90 л/ч), потом вычисляют среднее значение цены импульса на каждом расходе:

$$C_{cp,i} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{3},$$

где $C_{cp,i}$ – среднее значение цены импульса в точке рабочего диапазона расхода топлива, мл/имп.

Затем определяется среднее значение цены импульса в мл/имп. для всего диапазона измерения расхода топлива (5–100 л/ч)

$$C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{cp,i}}{n},$$

где n – число калибруемых точек расхода топлива.

Определение погрешности измерения объема топлива расходомером топлива «Flow-FCS3-250». Определение относительной погрешности измерения объема топлива в калибруемых точках и относительной расширенной неопределенности производят методом сравнения показаний калибруемого расходомера с показаниями средств измерений стенда ИП-165 для градуировки и поверки датчиков топлива.

В каждой точке рабочего диапазона измерения расхода топлива (5, 30, 60 и 90 л/ч) проводят по 10 наблюдений за показаниями шкалы мерника объема топлива стенда ИП-165.

Результаты измерений, зарегистрированные по шкале мерника в точках рабочего диапазона расхода топлива, записывают в протокол калибровки (таблица П.4.2 приложения 4).

Обработка результатов измерений состоит в определении значения цены импульса и относительной погрешности измерения объема топлива и относительной расширенной неопределенности.

67

Неопределенность должна быть оценена для каждого результата измерения. Методика обработки результатов измерений и расчета неопределенности измерений приведена в таблице П.4.4 приложения 4. Результаты расчетов заносят в таблицу П.4.5 приложения 4.

Содержание отчета по работе

1. Приведите схему и описание стенда ИП-165 для калибровки расходомера топлива «Flow-FCS 3-250».
2. Приведите сведения о калибруемом расходомере.
3. Опишите датчик расхода топлива ИП-151-1.
4. Опишите методики определения средней цены импульса расходомера и относительной погрешности расходомера.
5. Приведите экспериментальные данные и методику их обработки.
6. Рассчитайте и проанализируйте неопределенности показаний эталонного мерника, калибруемого расходомера, погрешности оператора, погрешности эталонного мерника.
7. Рассчитайте и приведите коэффициенты чувствительности, относительные суммарные неопределенности в четырех точках диапазона расхода топлива, а также процентные вклады неопределенностей.
8. Рассчитайте и приведите относительные расширенные неопределенности и относительные погрешности измерения объема топлива.

Контрольные вопросы

1. Перечислите агрегаты уровня и датчики, входящие в стенд ИП-165 для калибровки расходомера.
2. Опишите методику калибровки датчика расхода ИП-151-1.
3. Укажите особенности методики калибровки расходомера «Flow-FCS 3-250».
4. Как рассчитывают неопределенности показаний эталонного мерника, калибруемого расходомера, оператора и эталонного мерника?
5. Как рассчитывают коэффициенты чувствительности, стандартные неопределенности, процентные вклады неопределенностей, расширенные неопределенности и относительные погрешности?

Раздел 3

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРАКТОРА С НАВЕСНЫМ ОРУДИЕМ

В соответствии с ГОСТ 10677–2001 «Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8, типы, основные параметры и размеры». Навесное устройство рассчитывают для трех положений орудия: нижнего, рабочего и верхнего (транспортного).

В крайнем нижнем положении при максимальном заглублении орудия на механизм навесного устройства действуют силы веса G и сопротивления орудия R_x .

В верхнем положении механизм навесного устройства имеет другую конфигурацию и нагружен только весом орудия G .

В рабочем положении на механизм действует сила сопротивления орудия R_x , приложенная, как и сила тяжести G , на глубине $h = 125$ мм (рисунок 18), а также нормальная реакция опорного колеса сельскохозяйственного орудия.

Из трех вариантов выбирают наиболее неблагоприятные, которые принимают для расчета на прочность каждого звена. Для расчета углов наклона звеньев механизма навески применяется графоаналитический метод. Используя исходные данные, находим координаты шарниров звеньев механизма навески. Для нахождения рабочего и крайних положений тяг и рычагов навески (верхнего и нижнего) из точек A и D радиусами r_{DC}, r_{AB}, r_{DE} проводим окружности (рисунок 18). Высота оси подвеса точки B над уровнем опорной поверхности составляет:

- в рабочем положении $m_3 = 400$ мм,
- в крайнем нижнем $m_1 = 200$ мм,
- в крайнем верхнем $m_2 = 950–1200$ мм.

Ось подвеса точки B в трех названных положениях находится на пересечении окружности, проведенной радиусом r_{AB} с горизонтальными линиями, проведенными на высотах m_1, m_2, m_3 .

Положение оси заднего шарнира верхней тяги DC находится на пересечении окружности, проведенной радиусом r_{DC} из точки D , с окружностями, проведенными радиусами r_{BC} из осей подвеса точ-

ки B в трех названных положениях. Остальные построения проводятся в аналогичном образе. В трех названных положениях измеряют углы α_{DC} , α_{BC} , α_{AB} , α_{EF} , α_{DE} . Полученные значения длин тяг и углов их наклона, входящих в эти формулы, следует брать из схемы механизма, приведенной на рисунке 18.

К трактору приложим:

G_T – вес трактора;

Y_n и Y_k – нормальные реакции передних и задних колес;

X_n и X_k – тангенциальные реакции передних и задних колес;

F_{AB} , F_{CD} и N_{AB} – усилия, приложенные в тягах (продольные и нормальное).

К орудью приложим следующие силы и реакции:

G – вес орудия;

R_x , R_y и F_x – составляющие силы тягового сопротивления и силу трения полевой доски;

Y_n – нормальную реакцию опорного колеса;

T_{AB} , T_{DC} и N_{AB} – реакции приложенные к тягам (продольные и нормальное).

На рисунке 18 показаны следующие графоаналитические построения:

– расчет продольной составляющей тягового сопротивления:

$$R'_x = R_x + F_x;$$

– расчет сил:

$$R'_{xy} = R'_x + R_y,$$

где $F_x = \frac{1}{6} R_x$, а $R_y = \frac{1}{3} R_x$,

$$\overline{R'}_{xy} = \overline{R}_{xy} + G,$$

$$\overline{R'}_{xy}^{\Sigma} = \overline{R'}_{xy} + \overline{Y}'_n,$$

где $Y'_n = \overline{Y}_n + \overline{P}_{fn}$.

$$Y'_n = \frac{R'_{xy} m}{l_n}, \quad l_n = x_0 + l_0 + x_n,$$

где m – плечо действия силы R'_{xy} .

При работе $N_{AB} = 0$ результирующая сила R'_{xy}^{Σ} проходит через центр вращения тяг навески (ЦВТН). При этом $T_{xy} = -R'_{xy}^{\Sigma}$, где $T_{xy} = \overline{T}_{AB} + \overline{T}_{DC}$.

Если усилие T_{DC} направлено назад $T_{DC} = F_{DC}$, в верхней тяге появляется усилие растяжения. Если присутствует реакция $T_{DC} = -F_{DC}$, получаем усилие сжатия.

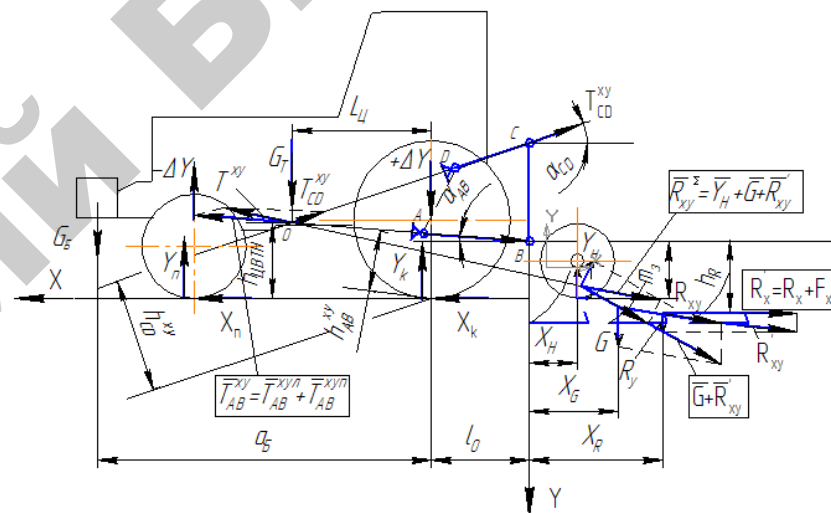


Рисунок 18 – Схема сил, действующих на навесной МТА в продольно-вертикальной плоскости при установившемся движении растяжением верхней тяги

На рисунке 18 координатные оси проведены следующим образом: Y – через ось подвеса точки B вниз; X – через точку пересечения оси Y с опорной поверхностью вперед.

С учетом принятых обозначений условия равновесия орудия в продольно-вертикальной плоскости определяются следующими уравнениями проекций сил:

$$\sum X = T_{CD}^{xy} \cos \alpha_{CD} + T_{AB}^{xy} \cos \alpha_{AB} - R'_x - P_{fn} = 0;$$

$$\sum Y = T_{CD}^{xy} \sin \alpha_{CD} + T_{AB}^{xy} \sin \alpha_{AB} + N_{AB} \cos \alpha_{AB} + G \pm R'_y - Y_H = 0,$$

где α_{DC} – угол наклона верхней тяги DC к горизонтали,

$$\alpha_{DC} = \frac{\pi}{2} - \beta = \alpha - \alpha_{AB};$$

α – угол между осями верхней DC и нижней AB тяг навесного устройства;

$$\alpha_{AB} - \text{угол наклона нижней } AB \text{ тяги к горизонтали, } \alpha_{AB} = \frac{\pi}{2} - \gamma;$$

β и γ – углы наклона соответствующих звеньев DC и AB к вертикали.

$P_{fH} = f_H Y_H$ (f_H – коэффициент сопротивления перекачиванию опорного колеса орудия).

Усилие в верхней тяге DC можно определить из уравнения моментов относительно оси подвеса (точки B).

$$\sum M_B = 0,$$

$$T_{CD}^{xy} r_{BC} \sin [M^\circ - (\alpha - \alpha_{AB})] + Gx_G \pm R'_y x_R - Y_H (x_H + f_H m_3) - R'_x h_R = 0,$$

где M° – угол между стойкой BC и рамой орудия ($\angle M^\circ \approx 90^\circ$);

r_{BC} – высота стойки, м.

$$\text{При этих условиях } \sin [M^\circ - (\alpha - \alpha_{AB})] = \cos \alpha_{CD}.$$

x_H и m_3 – продольная и нормальная к опорной поверхности координаты центра пятна контакта колеса орудия от оси подвеса в точке B ;

$h_R = m_3 + h_{пл} / 2$ – нормальная к опорной поверхности координата действия силы R'_x от оси подвеса, точка B .

Для расчета принимают $m_3 = 0,4$ м, $h_{пл} = 0,25$ м.

Вектор \bar{T}^{xy} разложим на горизонтальную T_x^{xy} и вертикальную T_y^{xy} составляющие, приложенные в ЦВТН, которые получаем из следующих выражений:

$$T_x^{xy} = T_{AB}^{xy} \cos \alpha_{AB} - T_{CD}^{xy} \cos \alpha_{CD},$$

$$T_y^{xy} = T_{AB}^{xy} \sin \alpha_{AB} + T_{CD}^{xy} \sin \alpha_{CD}.$$

Аналогичные составляющие внешних сил направлены в противоположную сторону.

$h_{\text{ЦВТН}} = m_3 + (\rho_{AO} + r_{AB}) \operatorname{tg} \alpha_{AB}$ – высота ЦВТН над опорной поверхностью;

r_{AB} – расстояние от оси подвеса точки B до точки A крепления нижних тяг на тракторе, м;

x_0, l_0 – продольные расстояния от нормали, проведенной через ось задних колес соответственно до ЦВТН и до оси подвеса точки B , м;

L – база трактора, м.

Практическая работа 1

ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ ТРАКТОРА С НАВЕСНЫМ ОРУДИЕМ

Цель работы: ознакомиться с методикой и аппаратурой, используемыми при динамометрировании трактора с навесным орудием; изучить характер силового воздействия навесного орудия на трактор.

Содержание работы

Тяговые характеристики трактора используют для анализа работы трактора с прицепными орудиями. При работе с навесными орудиями силовое воздействие на трактор существенно отличается от прицепных.

Для анализа динамики навесного агрегата кроме тягового сопротивления навесного орудия необходимо иметь данные о догрузке трактора вертикальными силами, действующими на орудие, и их влиянии на распределение нормальных реакций передних и задних колес конкретного трактора.

1. Методика расчета распределения нормальных нагрузок

Распределение нормальных нагрузок рассчитывают для трех случаев:

А. Трактор стоит.

В. Трактор катится без тяговой нагрузки

С. Трактор тянет навесное орудие.

Предполагается, что опорная поверхность – горизонтальная.

А. Трактор стоит

К трактору приложены:

- сила веса G_T на продольном расстоянии a от оси задних колес,

- сила веса G_B балластных грузов на продольном расстоянии a

от оси задних колес. Тогда нормальные нагрузки составят:

- на передние колеса:

$$Y_n^o = \frac{G_T a + G_B a_B}{L};$$

- на задние колеса:

$$Y_k^o = G_T + G_B - Y_n^o.$$

Продольная координата центра тяжести

$$a_\Sigma = \frac{G_T a + G_B a_B}{G_T + G_B}.$$

В. Трактор катится

К трактору дополнительно приложим моменты сил сопротивления качению колес.

В теории тракторов и автомобилей показано, что сопротивление качению колес возникает вследствие несовершенства физико-механических характеристик шины и почвы, что проявляется в появлении гистерезисных потерь, связанных с деформацией шины и почвы.

Выражения для расчета моментов сил сопротивления качению:

- передних колес:

$$M_{fП} = a_n Y_n^o = f Y_n^o r_n;$$

- задних колес:

$$M_{fК} = a_k Y_k^o = f Y_k^o r_k.$$

Рассчитываем динамические радиусы колес в м по формуле

$$r = \left[\frac{D}{2} + B \kappa_{ш} (1 - \lambda) \right] 0,0254,$$

где D – посадочный диаметр шины по ободу, мм;

$\kappa_{ш}$ – коэффициент, учитывающий профиль шины ($\kappa_{ш} = 0,55-0,8$ для низкопрофильных шин);

B – ширина шины, мм;

λ – коэффициент, учитывающий прогиб шины [$1 - \lambda = (0,90-0,95)$];

Высота профиля шины определяется по следующей формуле

$$H = \kappa_{ш} B.$$

Например, обозначение шины 16,9/70–38 расшифровывают следующим образом: $B = 16,9$, $\kappa_{ш} = 0,7$ (или 70 %), $D = 38$. Размеры B и D заданы в дюймах. Коэффициент f задается в соответствии с типом покрытия. Рассчитаем нормальные реакции:

- для передних колес:

$$Y_n = Y_n^o - \frac{M_{fn} + M_{fk}}{L};$$

- для задних колес:

$$Y_k = G_T - Y_n.$$

С. Трактор тянет навесное орудие.

Нормальные нагрузки на передние и задние колеса трактора считаем с учетом внешних сил, определенных экспериментально путем динамометрирования навесного МТА.

2. Методика динамометрирования навесного МТА

Методика динамометрирования навесных агрегатов основывается на измерении усилий в шарнирах, соединяющих навесное орудие с трактором.

Расчеты показывают, что, как правило, при работе навесного устройства в нижних AB и верхней CD тягах имеют место усилия растяжения. Из этих предпосылок датчик гидромеханического силового регулятора трактора «БЕЛАРУС 822» встроен в верхнюю тягу. У тракторов «БЕЛАРУС 1522/1822/2022/2522», оснащенных электрогидравлическим регулятором «BOSCH»:

- датчики силового регулятора встроены в пальцы крепления нижних тяг AB на тракторе.
- датчик положения тяг НУ встроены в верхнюю тягу CD .

В верхней тяге CD усилие не измеряют, так как при дифферентах трактора (угловых отклонениях корпуса назад), вызванных переездом неровностей рельефа и деформацией шин и рессор подвески в верхней тяге, возникают усилия сжатия. В системах автоматики силового регулятора это приводит к возникновению ложного сигнала и, как следствие, к появлению неравномерности дна борозды. Компания «BOSCH» в верхней тяге навесного устройства силовой датчик не устанавливает. Алгоритм управления задним навесным устройством (ЗНУ) строится из предположения, что усилия в

верхней тяге CD рассчитываются в вычислительном устройстве – коммутаторе, где собираются сигналы всех датчиков и вырабатывается команда на регулирование.

Из алгоритма, приведенного в таблице 3.6 практической работы 2 следует, что для расчета усилий в звеньях навесного устройства необходимо, кроме продольного усилия T_{AB} в точке A крепления нижней тяги на тракторе, измерять усилие N_{AB} нормальное данной тяге. Это усилие возникает при работе силового регулятора, который разгружает контакт «орудие – почва», улучшая энергетику МТА. Усилие N_{AB} создает гидроцилиндр, воздействуя через подъемный рычаг DF и раскосы EF на нижнюю тягу AB . Датчик силового регулятора, измеряющий усилие N_{AB} , разместим в оси подвеса точки B . Его конструкция аналогична конструкции датчика усилия T_{AB} .

Силовой датчик. Силовой датчик выполнен в виде двух силоизмерительных пальцев 5, которые вставляются в кронштейн 3 и служат осью крепления продольных тяг 4. Положение пальца в кронштейне определяется направляющей 2, входящей в паз силоизмерительного пальца и закрепленной на кронштейне 3 двумя болтами 1 (рисунок 19).

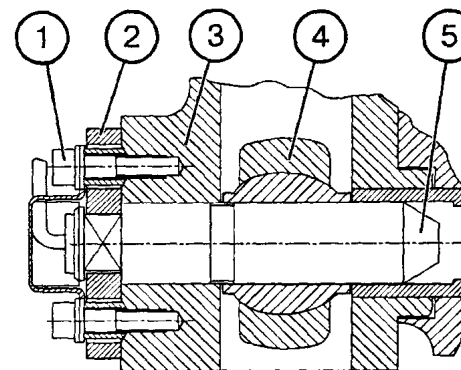


Рисунок 19 – Расположение силового датчика:

1 – болт; 2 – направляющая; 3 – кронштейн; 4 – тяга; 5 – палец (датчик)

Силоизмерительный палец предназначен для измерения усилия в нижних тягах навесного устройства. Конструктивная схема указанного датчика приведена на рисунке 20.

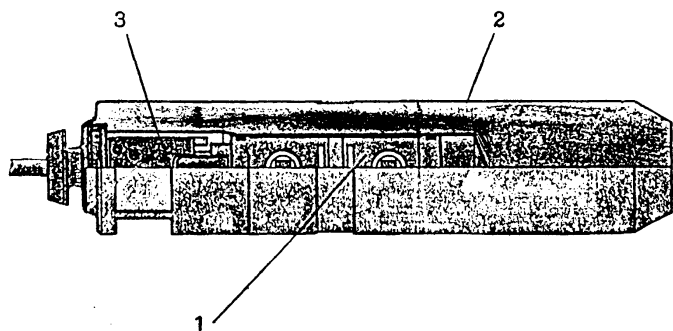


Рисунок 20 – Конструктивная схема датчика усилия

Силоизмерительный палец содержит магнитопровод 1, базирующийся внутри силоводящей втулки 2, и встроенную электронную плату 3 (рисунок 20). Силоводящая втулка 2, выполненная из магнитомягкого материала, образует с магнитопроводом 1 магнитную систему. При возникновении сдвиговых напряжений в силоводящей втулке 2 происходит изменение магнитной проницаемости нагруженного участка, вследствие чего изменяется коэффициент трансформации между питающей и сигнальной обмотками. Электрический сигнал переменного тока с выхода трансформатора посредством электронной платы 3 преобразуется в унифицированный выходной сигнал постоянного тока (рисунок 21). Специальные технические характеристики датчика усилия приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики датчика усилия фирмы «BOSCH»

Тип преобразователя	Магнитоупругий
Номинальная нагрузка, кН	± 60
Напряжение питания, В	$10 \pm 0,5$
Выходной сигнал, В	2,5 ... 7,5
Уровень нелинейности, %	± 8
Гистерезис, %	± 3
Тип безопасности	IP 66 A
Рабочий температурный диапазон, °С	-30 ... +80
Разъем, контакты	3

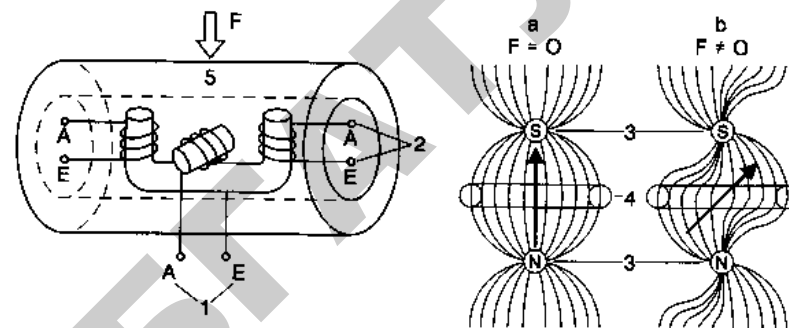


Рисунок 21 – Принцип работы силового датчика:

a – симметричное магнитное поле; *b* – асимметричное магнитное поле:
 1 – первичная обмотка; 2 – вторичная обмотка; 3 – первоначальные силовые линии; 4 – вторичные силовые линии; 5 – стальная оболочка

При малых изменениях нагрузки гистерезис стремится к нулю (рисунок 22).

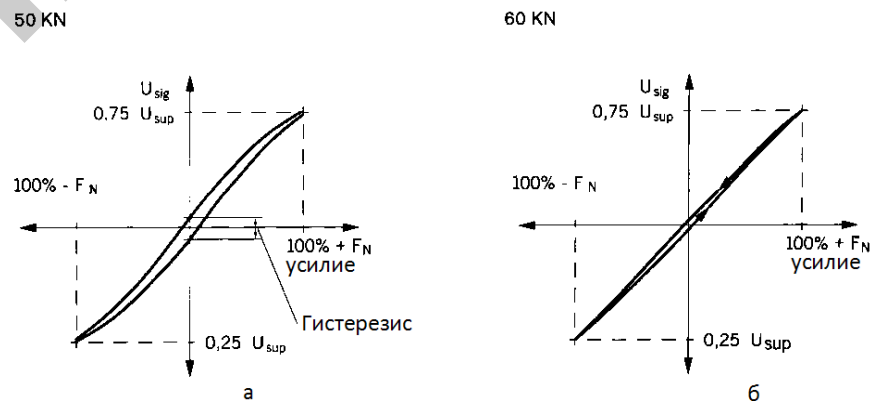


Рисунок 22 – Кривые выходного сигнала:
a – $F = 50$ кН; *b* – $F = 60$ кН

Позиционный датчик. Позиционный датчик 4 ввинчивается в гнездо крышки заднего моста 3 и управляется эксцентриком 2, закрепленным на поворотном валу 1 винтом 6 (рисунок 23).

Установка датчика осуществляется следующим образом: заднее навесное устройство поднимается в крайнее верхнее положение так,

чтобы метка «А» на восходящей части эксцентрика 2 находилась против подвижного стержня датчика 4. Если необходимо, ослабляется винт 6, и эксцентрик поворачивается относительно вала 1 до совпадения метки со стержнем датчика, винт затягивается. Ввинчивается датчик от руки до упора в эксцентрик и отворачивается на 0,5–1,0 оборот. Далее затягивается контргайка 5.

Если датчик установлен правильно, контрольная лампа подъема ЗНУ гаснет в крайнем верхнем положении.

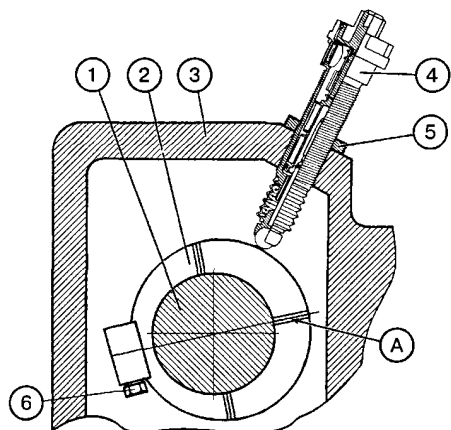


Рисунок 23 – Расположение позиционного датчика:

1 – вал поворотный; 2 – эксцентрик; 3 – крышка заднего моста; 4 – датчик; 5 – контргайка; 6 – винт

Позиционный датчик положения предназначен для измерения положения навесного орудия относительно трактора. Конструктивная схема указанного датчика приведена на рисунке 24.

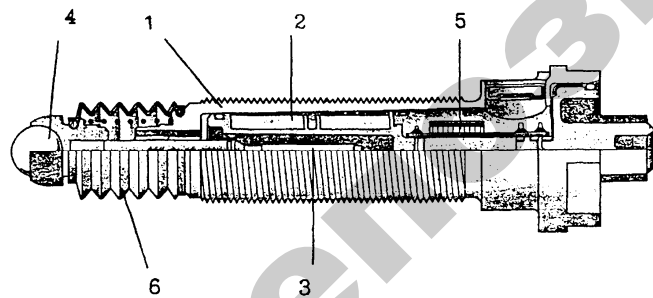


Рисунок 24 – Конструктивная схема датчика линейного перемещения

Датчик линейного перемещения содержит литой корпус из алюминиевого сплава 1, дифференциальную индуктивную катушку 2, ферромагнитный сердечник 3, подвижный толкатель 4 с шаровым наконечником в пластмассовой втулке, электронную плату 5 и пылезащитный сальфон 6 (рисунок 24).

При контакте шарового наконечника с профилем кулачка, расположенного на поворотном валу навесного устройства, посредством толкателя 4 ферромагнитный сердечник 3 перемещается относительно катушки 2. Данная система образует измерительный мост, на выходе которого за счет изменения индуктивности магнитной системы посредством амплитудной модуляции снимается переменное напряжение, пропорциональное входному воздействию. Полученный на выходе сигнал переменного тока выпрямляется и усиливается до стандартного уровня.

Специальные технические характеристики датчика линейного перемещения приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики датчика линейного перемещения фирмы «BOSCH»

Тип преобразователя	Индуктивный дифференциальный
Линейный диапазон измерения, мм	$10 \pm 0,6$
Максимальный диапазон измерения, мм	$13 \pm 0,6$
Измерительное усилие, Н	16
Напряжение питания, В	10
Выходной сигнал, В	2,5...7,5
Уровень нелинейности, %	$\pm 3\%$
Тип безопасности	IP 64 А
Рабочий температурный диапазон, °С	-30... +80
Разъем, контакты	3

Исходные данные для расчета

Параметры трактора задает преподаватель, используя данные приложения 5. К числу основных параметров относятся вес G_T , вес балласта G_B , тяговый класс, продольные координаты от оси задних

колес до центров тяжести соответственно трактора и балластных грузов, продольная база L типоразмеры передних и задних колес.

К трактору приложим:

- силу веса трактора и балластных грузов G_T, G_B нормальные Y_n, Y_k и тангенциальные X_n, X_k реакции почвы, силы F_{AB} и F_{DC} , направленные вдоль тяг AB и DC , и нормальную силу N_{AB} , приложенную к оси подвеса B .

К сельскохозяйственному орудью приложим:

- силу веса сельскохозяйственного орудия G , внешние силы сопротивления рабочих органов R_x, R_y и трения полевой доски F_x . Результирующая сила R_{xy} направлена под углом θ к опорной поверхности, реакция опорного колеса Y_n направлена по нормали к опорной поверхности, сила сопротивления его качению – вдоль опорной поверхности. Со стороны трактора к орудью приложены силы $R_{AB} = F_{AB}$ и $R_{DC} = F_{DC}$, а также нормальную $N_{AB} = F_{AB}$. Продольные координаты точек x_n, x_G, x_R и l_0 точек приложения внешних сил и реакций задаются преподавателем.

Выбор и описание типоразмера и параметров навесного устройства производится в соответствии с ГОСТ 10677–2001 «Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8,0» (таблицы 3.3, 3.4).

Таблица 3.3 – Типоразмеры навесного устройства в соответствии с ГОСТ 10677–2001

Типоразмер навесного устройства	Класс трактора
НУ-2	От 0,6 до 2,0 вкл.
НУ-3	3 и 4
НУ-4	5 и 8

Таблица 3.4 – Основные параметры навесного устройства в рабочем положении

Наименование параметра	Тип навесного устройства		
	НУ-2	НУ-3	НУ-4
1. Высота присоединительного треугольника u_0 , мм	610	685–700 900 для плугов	1100
2. Расстояние m_3 от оси подвеса B до опорной плоскости, м	0,4	0,4	0,4

Окончание таблицы 3.4

Наименование параметра	Тип навесного устройства		
	НУ-2	НУ-3	НУ-4
3. Угол наклона α_{BC} плоскости присоединительного треугольника к вертикали	≈ 0	≈ 0	≈ 0
4. Расстояние x_0 от мгновенного центра вращения тяг навески (МЦВТН) до оси задних ведущих колес, не более	1,25L	1,5L	1,5L
5. Условный угол тяги Δ_B , не более	13°	11°	10°

Внешние силы F_{AB} и N_{AB} рассчитываем по показаниям датчиков – силового продольного усилия и силового нормального усилия, а угол наклона верхней тяги CD – по показаниям позиционного датчика (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Показания датчиков

Показания датчиков, В		
Усилий		Позиционного V_a
Продольных V_m	Нормальных V_N	
Масштабы		
$\mu_{mx}, \frac{\text{кН}}{\text{В}}$	$\mu_N, \frac{\text{кН}}{\text{В}}$	$\mu_a, \text{град/В}$
Силы, кН		Угол, град
T_{AB}	N_{AB}	α_{CD}

Далее приведен алгоритм расчета нормальных реакций почвы на передние Y_n и задние Y_k колеса трактора с учетом рассчитанных внешних сил F_{AB} и N_{AB} .

Перераспределение веса ΔY между передними и задними колесами в продольной плоскости ux (рисунок 18) можно найти по выражению

$$\Delta Y = \frac{F_{AB}^{yx} m_{AB}^{yx} - F_{CD}^{yx} m_{CD}^{yx} - N_{AB} l_{AB0} \cos \alpha_{AB}}{L},$$

где m_{AB}^{yx} и m_{CD}^{yx} – плечи действия усилий F_{AB}^{yx} и F_{CD}^{yx} относительно центра пятна контакта задних колес, м.

Если силовой регулятор отключен, или $N_{AB} = 0$. В этом случае:

– если $F_{AA}^{yx} m_{AB}^{yx} > F_{CD}^{yx} m_{CD}^{yx}$, передние колеса разгружаются, а задние догружаются;

– если $F_{AA}^{yx} m_{AB}^{yx} < F_{CD}^{yx} m_{CD}^{yx}$, передние колеса догружаются, а задние разгружаются.

Плечи m_{AB}^{yx} и m_{CD}^{yx} (для тракторов «БЕЛАРУС 2522/3022») определим из следующих соображений. Высота точки пересечения оси нижней тяги с нормалью, проведенной через ось заднего колеса:

$$h_{AB} = h_{цвти} - x_o \cdot \operatorname{tg} \alpha_{AB};$$

$$m_{AB}^{yx} = h_{AB} \cos \alpha_{AB}$$

При $\alpha_{AB} \approx 0$, $m_{AB}^{yx} = h_{AB} = m_3 = 0,4$ м.

Высота точки пересечения оси верхней тяги CD с осью заднего колеса

$$h_{CD} \approx (m_3 + r_{BC}) - l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{CD}.$$

При $r_{BC} = 1,1$ м, $l_0 = 1,5$ м, $\alpha_{CD} = 10^\circ$, получим $h_{CD} = 1,01$ м.

$$m_{CD}^{yx} = h_{CD} \cos \alpha_{CD} = 0,96$$
 м.

При этих условиях определим распределение веса по осям трактора:

$$Y_{II} = Y_{II}^0 + \frac{M_f}{L} \pm \Delta Y;$$

$$Y_K = G_T + N_{AB} \cos \alpha_{AB} \mp \Delta Y,$$

где Y_{II}^0 , Y_K^0 – составляющие веса трактора, приходящиеся на переднюю и заднюю оси в статике соответственно.

По полученным результатам расчета строим зависимость изменения нормальных реакций почвы на передние Y_n и задние Y_k колеса трактора в зависимости от усилия на крюке (рисунок 25).

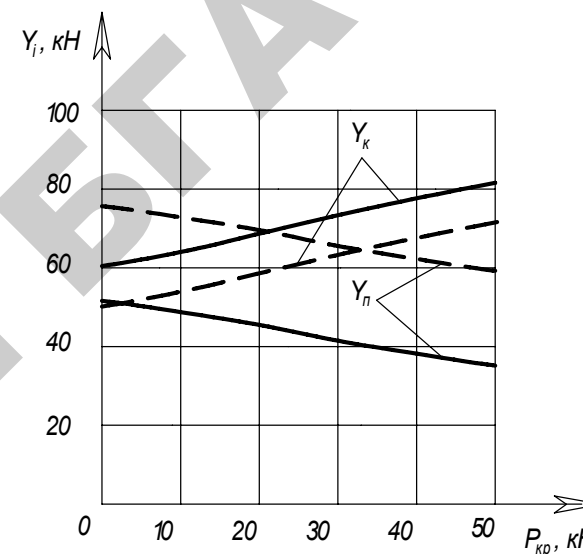


Рисунок 25 – Изменение распределения веса по осям трактора «БЕЛАРУС 2522» в составе навесного МТА в зависимости от $P_{кр}$ (___ с балластом; ___ без балласта)

Содержание отчета

1. Привести краткую методику динамометрирования навесного орудия.
2. Зарисовать схемы сил, действующих на навесное орудие и трактор, а также схемы силового и позиционного датчиков.
3. Рассчитать внешние силы F_{AB} и N_{AB} , а также угол наклона тяги α_{DC} .
4. Рассчитать:
 - а) плечи m_{AB} , m_{CD} , h_R и высоты $h_{цвти}$, h_{AB} , h_{CD} ;
 - б) усилие в верхней тяге $T_{CD} = F_{CD}$;
 - в) перераспределение веса ΔY ;
 - г) нормальные реакции передних Y_n и задних Y_k колес при различных значениях F_{AB} и N_{AB} .
5. Построить зависимости Y_n и Y_k от R_x для разных θ или N_{AB} .

Контрольные вопросы

1. Воспроизведите формулу для расчета динамического радиуса низкопрофильной шины. Чем отличается обозначение низкопрофильной шины от торовой?
2. В чем суть методики динамометрирования навесного орудия, основанной на использовании силового и позиционного датчиков фирмы «BOSCH»?
3. Опишите устройство и принципы работы силового датчика «BOSCH».
4. Опишите устройство и принципы работы позиционного датчика «BOSCH».
5. Опишите типоразмеры и назовите параметры навесных устройств.
6. В чем суть методики расчета плеч m_{AB} и m_{CD} действия сил T_{AB} и T_{CD} соответственно в нижней AB и верхней CD тягах?
7. В чем суть методики расчета усилий, действующих в нижней AB и верхней CD тягах?
8. Как перераспределяются нормальные нагрузки на передние и задние колеса в зависимости от величины и характера приложенных сил?

Практическая работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ТЯГИ И РЫЧАГИ ЗАДНЕГО НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ СИЛОВОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЯ

Цель работы: рассчитать усилия, действующие на тяги и рычаги заднего навесного устройства при силовом регулировании

Содержание работы

При силовом регулировании взаимодействия трактора и сельскохозяйственного орудия у последнего опорное колесо отсутствует. Поэтому его нормальную реакцию Y_n примем равной нулю. К орудью приложим силу тягового сопротивления орудия R_{XY} , которую разложим на две составляющие – горизонтальную R_X и вертикальную R_Y :

$$\bar{R}_{XY} = \bar{R}_X + \bar{R}_Y.$$

При этом

$$R_Y = R_X \operatorname{tg}\theta + G_{\text{пл}},$$

где $G_{\text{пл}}$ – вес орудия,

θ – угол наклона результирующей силы R_{XY} к опорной поверхности $\theta = 18\text{--}25^\circ$.

Силу R_{XY} приложим посреди плуга в центре тяжести точки K орудия с продольной координатой $a_{\text{пл}} = 0,5L_{\text{пл}}$ от оси подвеса точки B .

Соединим ось подвеса точки B с точкой K отрезком длиной n , направленным под углом ν к нормали к опорной поверхности.

Введем следующие обозначения:

r_{AB}, r_{AF}, r_{BC} и r_{DC} – длины соответственно нижней тяги AB , ее части AF до раскоса EF , стойки BC , верхней тяги DC ;

$\alpha_{AB}, \alpha_{DC}, \alpha_{BC}$ – углы наклона соответствующих тяг к горизонтали;

$r_{FE}, r_{DE}, r_{DG}, r_{GA}$ – длины соответственно раскоса, подъемно-навесного устройства, длина гидроцилиндра;

$\alpha_{EF}, \alpha_{DE}, \alpha_{DG}$ и τ – углы наклона к вертикали соответствующих звеньев.

Силы, направленные вдоль названных звеньев, обозначим через T с соответствующими индексами.

Силы, направленные перпендикулярно названным звеньям, обозначим через N с соответствующими индексами.

Координатные оси, продольные координаты и силы направим горизонтально (x) и вертикально (y).

В уравновешенном МТА должны соблюдаться следующие равенства:

$$\sum x = 0, \quad R_x + P_{\text{пл}} = X_k;$$

$$\sum y = 0, \quad P \cos \tau = N_{AB} \cos \alpha_{AB},$$

где $P_{\text{пл}}$ – сила сопротивления качению опорного колеса орудия;

X_k – толкающая реакция почвы приложенная к движителю;

P – усилие гидроподъемника.

Для расчета усилия в звеньях подъемно-навесного устройства нужно составить уравнения моментов относительно шарниров (точек) A, B, C, D .

При силовом регулировании (т. е. при отсутствии опорного колеса у орудия $Y_n = 0$) усилия в звеньях механизма навески от равнодействующей вертикальных сил Q и равнодействующей горизонтальных сил R_x определяют по формулам, приведенным в таблице 3.6. Выражения для расчета усилий:

- в верхней тяге T_{DC} следует из уравнения моментов относительно точки B ;

- в нижней тяге T_{AB} и N_{DB} следуют из уравнения моментов относительно точки C ;

- в раскосе T_{EF} – из уравнения моментов относительно точки A ;

- в штоке гидроцилиндра P – из уравнения моментов относительно точки D (рисунок 26).

Таблица 3.6 – Формулы для расчета усилий, действующих на тяги и рычаги заднего навесного устройства при силовом регулировании (без учета «зачемления» верхней тяги)

Усилие, направленное		Коэффициенты	
вдоль	перпендикулярно	K_i нормальных сил	K'_i продольных сил
1	2	3	4
Верхней тяги DC (из $\sum M_B = 0$)			
$T_{DC} = K_1 Q + K'_1 R_x$	$N_{DC} = 0$	$K_1 = \frac{n \sin \nu}{r_{BC} \sin(\beta - \alpha_{BC})}$	$K'_1 = \frac{n \cos \nu}{r_{BC} \sin(\beta - \alpha_{BC})}$
Нижней тяги AB (из $\sum M_C = 0$ и $\sum M_{OH} = 0$)			
$T_{AB} = K_2 Q + K'_2 R_x$	$N_{AB} = K_3 Q + K'_3 R_x$	$K_2 = \cos \gamma - K_1 \cos(\gamma - \beta),$ $K_3 = \sin \gamma - K_1 \sin(\gamma - \beta)$	$K'_2 = \sin \gamma - K'_1 \cos(\gamma - \beta),$ $K'_3 = \cos \gamma - K'_1 \sin(\gamma - \beta)$
Раскоса EF (из $\sum M_A = 0$)			
$T_{EF} = K_4 Q + K'_4 R_x$	$N_{EF} = 0$	$K_4 = \frac{K_{31} r_{AB}}{r_{AF} \cos(\alpha_{EF} - \alpha_{AB})}$	$K'_4 = \frac{K'_3 r_{AB}}{r_{AF} \cos(\alpha_{EF} - \alpha_{AB})}$
Штока гидроцилиндра (из $\sum M_D = 0$)			
$P = K_5 Q + K'_5 R_x$	–	$K_5 = \frac{K_4 r_{DE} \sin(\alpha_{DE} - \alpha_{EF})}{r_{DG} \sin(\alpha_{DG} + \tau)}$	$K'_5 = \frac{K'_4 r_{DE} \sin(\alpha_{DE} - \alpha_{EF})}{r_{DG} \sin(\alpha_{DG} + \tau)}$
Примечания.			
1. $\gamma = 90^\circ \pm \alpha_{AB}$, где α_{AB} – угол наклона к горизонтали тяги AB ;			
2. $\beta = 90^\circ \pm \alpha_{CD}$, где α_{CD} – угол наклона к горизонтали тяги CD ;			
3. n – длина условного рычага BK , соединяющего ось подвеса точки B с точкой приложения результирующей силы тягового сопротивления $R_{\text{рез}}$, расположенной на глубине $h_{\text{пл}}/2 = 0,125$ м;			
4. $Q = R_x \text{tg} \theta$ – вертикальная составляющая результирующей силы тягового сопротивления $R_{\text{рез}}$.			

Содержание отчета

1. Изобразить расчетную схему МТА.
2. Привести заданные преподавателем параметры МТА $G, G_B, L, a, a_B, m_3, h_{пл}, r_{AB}, r_{AF}, r_{BC}, r_{DC}, \alpha_{AB}, \alpha_{DC}, \alpha_{BC}$ типоразмер навесного устройства $x_0, l_0, L_{пл}$ а также внешние силы R_x, F_x, R_y, N_{AB} .
3. Привести рассчитанные значения $K_1, K'_1, K_2, K'_2, K_3, K'_3, K_4, K'_4, K_5, K'_5, T_{AB}, T_{CD}, P$.

Контрольные вопросы

1. Какова последовательность расчета усилий действующих на тяги и рычаги заднего навесного устройства при силовом регулировании?
2. Каковы полученные величины усилий в звеньях навесного устройства и штоке гидроцилиндра?
3. При каких условиях могут возникнуть усилия сжатия в верхней тяге DC ?
4. Определите пути компенсации явления сжатия верхней тяги.

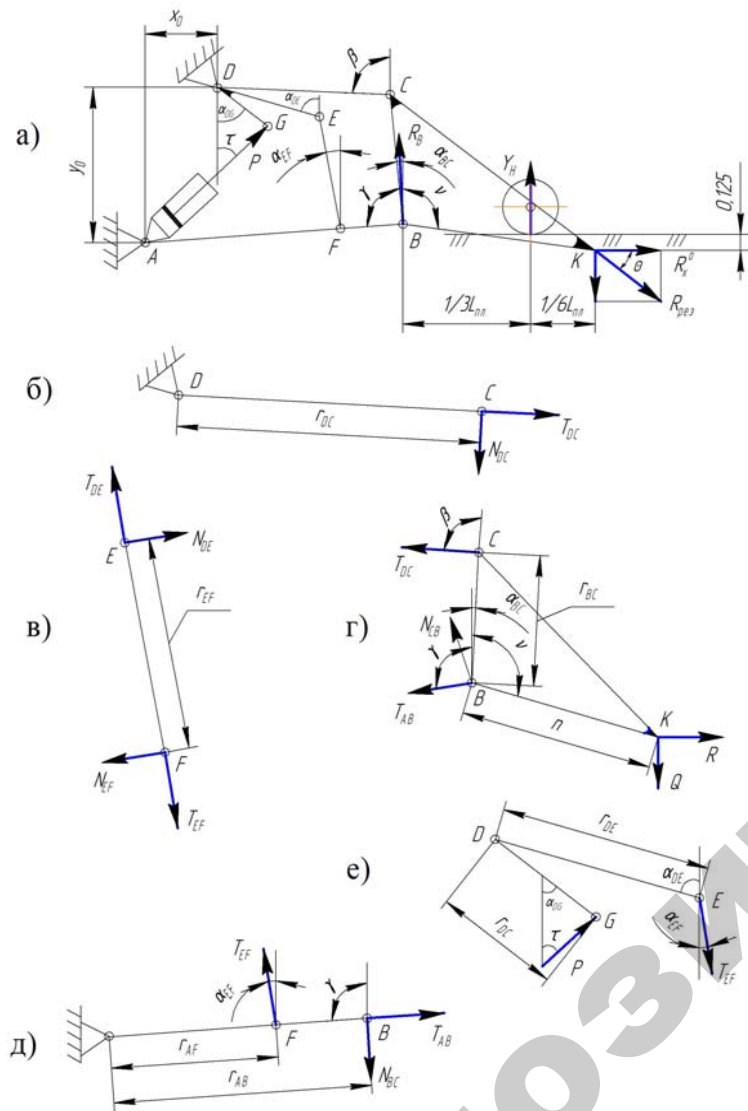


Рисунок 26 – Схемы к расчету нагрузок в навесном устройстве:
 а – общая схема; б – в верхней тяге (стержне CD); в – нагрузка в раскрое (стержне EF); г – нагрузка в стойке (стержне BC); д – нагрузка в нижней тяге (стержне AB); е – нагрузка в подъемном и поворотном рычагах (стержне DE и DG соответственно)

Практическая работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ТЯГИ И РЫЧАГИ ЗАДНЕГО НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ВЫСОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЯ

Цель работы: рассчитать усилия, действующие на тяги и рычаги заднего навесного устройства при высотном регулировании

Содержание работы

Опорное колесо навесного орудия, как правило, располагают на продольном расстоянии

$$l_{\text{пл}} = L_{\text{пл}} / 3,$$

где $L_{\text{пл}}$ – длина плуга, $L_{\text{пл}} = \Delta l_{\text{пл}} n$,

$\Delta l_{\text{пл}} = 0,7-1,0$ м расстояние между корпусами плуга;

n – число корпусов.

При наличии у сельскохозяйственного орудия копирующего колеса усилия в верхней и нижней тягах будут определяться по формулам:

$$\sum M_B = 0,$$

$$R_X^0 n \cos(180^\circ - \nu) - R_X \text{tg}\theta \cdot n \sin(180^\circ - \nu) + Y_H L_{\text{пл}} / 3 = T_{CD} r_{BC} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{BC}).$$

где Y_H – нормальная нагрузка на опорное колесо сельхозорудия, которую рассчитывают из суммы моментов относительно ЦВТН (точка π):

$$Y_H = \frac{R_X \text{tg}\theta (l_{\text{пл}} + r_{AB} \cos \alpha_{AB} + 0,5L_{\text{пл}}) - R_X (y_{\pi} + h_{\text{пл}} / 2)}{\frac{L_{\text{пл}}}{3} + l_{\text{пл}} + r_{AB} \cos \alpha_{AB}};$$

Подставив выражение для Y_H в формулу получим:

$$R_X^0 \left[n \cos \nu - \frac{(y_{\pi} + h_{\text{пл}} / 2) L_{\text{пл}} / 3}{\frac{L_{\text{пл}}}{3} + l_{\text{пл}} + r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] -$$

$$-R_X \text{tg}\theta \left[n \sin \nu - \frac{l_{\text{пл}} + r_{AB} \cos \alpha_{AB} + 0,5L_{\text{пл}}}{3} \frac{L_{\text{пл}}}{3} \right] = T_{CD} r_{BC} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{BC});$$

$$\sum M_C = 0,$$

$$R_X^0 [n \cos(180^\circ - \nu) + r_{BC} \cos \alpha_{BC}] - R_X \text{tg}\theta [n \sin(180^\circ - \nu) + r_{BC} \sin \alpha_{BC}] + Y_H \left(\frac{L_{\text{пл}}}{3} + r_{BC} \sin \alpha_{BC} \right) = T_{AB} r_{BC} \cos(\alpha_{AB} + \alpha_{BC}),$$

где $n = \sqrt{(0,5L_{\text{пл}})^2 + (m_3 + 0,5h_{\text{пл}})^2}$ – длина условного рычага,

ν – угол наклона условного рычага n к вертикали, град.,

β – угол наклона к вертикали верхней тяги: $\beta = \alpha_{CD} \pm 90^\circ$,

γ – угол наклона к вертикали нижней тяги: $\gamma = \alpha_{AB} \pm 90^\circ$.

Исходные данные для расчета усилий в звеньях заднего навесного устройства и расчетные кинематические коэффициенты приведены в приложении 5.

Результаты расчетов усилий в тягах заднего навесного устройства представлены в приложении 6.

Таблица 3.7 – Выражения для расчета усилий в звеньях заднего

Усилие, направленное		Коэффициенты	
вдоль	перпендикулярно	K_i нормальных сил	K'_i продольных сил
1	2	3	4
Верхней тяги DC (из $\sum M_B = 0$)			
$T_{DC} = K_{11} R_X^0 \text{tg}\theta - K_{12} Y_H + K_1 R_X^0$	$N_{DC} = 0$	$K_1 = \frac{n \sin \nu}{r_{BC} \sin(\beta - \alpha_{BC})}$ $K_{12} = \frac{L_{\text{пл}}}{3 r_{BC} \sin(\beta - \alpha_{BC})}$	$K'_1 = \frac{n \cos \nu}{r_{BC} \sin(\beta - \alpha_{BC})}$
Нижней тяги AB (из $\sum M_C = 0$)			
$T_{AB} = K_{21} R_X^0 \text{tg}\theta - K_{22} Y_H + K_2 R_X^0$	$N_{AB} = 0$	$K_2 = \cos \gamma - K_1 \cos(\gamma - \beta)$ $K_{22} = \cos \gamma - K_{12} \cos(\gamma - \beta)$	$K'_2 = \sin \gamma - K'_1 \cos(\gamma - \beta)$

Содержание отчета

1. Изобразить расчетную схему МТА.
2. Привести заданные преподавателем параметры МТА $G, G_B, L, a, a_B, m_3, h_{пл}, r_{AB}, r_{AF}, r_{BC}, r_{DC}, \alpha_{AB}, \alpha_{DC}, \alpha_{BC}$ типоразмер навесного устройства $x_0, l_0, L_{пл}$ а также внешние силы R_x, F_x, R_y, N_{AB} .
3. Привести рассчитанные значения $K_1, K'_1, K_{12}, K_2, K'_2, K_{22}, K_4, K'_4, K_5, K'_5, T_{AB}, T_{DC}$.

Контрольные вопросы

1. Последовательность расчета усилий действующих на тяги и рычаги заднего навесного устройства при высотном регулировании?
2. Каковы полученные величины усилий в звеньях навесного устройства и штоке гидроцилиндра?
3. Какова величина реакции почвы на опорном колесе орудия и пути его снижения?
4. При каких условиях может возникнуть усилие сжатия в верхней тяге DC ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.
2. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – М.: Колос, 1972. – 475 с.
3. Анилович, В.Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов: справочное пособие / В.Я. Анилович, Ю.Т. Водолажченко. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
4. Горин, Г.С. Расчет показателей силового взаимодействия трактора с навесным орудием в рабочем и транспортном положениях. Современные технологии и комплексы технических средств в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–27 мая 2005 г./ Г.С. Горин, А.В. Захаров. – Минск: БГАТУ, 2005.
5. Горин, Г.С. Логистика проектирования УЭС. Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние тенденции и направления развития: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 марта 2007 г./ Г.С. Горин, А.В. Захаров, А.В. Вашула. – Гомель: ПО «Гомсельмаш», 2007.
6. ГОСТ 7057–2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний».
7. ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90) «Тракторы сельскохозяйственные: определение тяговых показателей».
8. ГОСТ 27021–86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы и пояснения к ним».
9. ГОСТ 24057–88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний».
10. ГОСТ 30745–2001 «Определение и построение регуляторной характеристики двигателя».
11. СТБ ИСО/МЭК 17025–2002 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».
12. ГОСТ 10677–2001 «Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8,0, типы, основные параметры и размеры».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные сведения о калибровочном оборудовании

Стенд ТУД-5 предназначен для градуировки и поверки тяговых тензометрических звеньев и динамометров с максимальным измеряемым усилием до 50 кН. Стенд является испытательным оборудованием специального назначения.

Градуировка осуществляется путем сравнения показателей градуируемого динамометра 1 с показаниями эталонного силоизмерительного прибора 2 при одновременном воздействии на эти приборы некоторой силы (рисунок 27). Эталонным силоизмерительным элементом стенда является образцовый динамометр сжатия 2 ДОСМ-3-5 со стрелочным индикатором 3.

Стенд 4 состоит из стального основания, двух стоек, на которых установлена верхняя опора. На верхней опоре смонтирован силовой узел: червячный самотормозящийся редуктор с передаточным отношением $i = 14,0$ и шпindel 5 с резьбой, являющийся грузовым винтом, передающим усилие на образцовый динамометр 2.

Образцовый динамометр 2 подвешивается на шпindel 5 с помощью реверсивных скоб, служащих для преобразования усилия растяжения в усилие сжатия.

Поверяемый динамометр 1 одним концом подвешивается к реверсивной скобе, а другим концом присоединяется к серьге нижней опоры.

Поверяемый и образцовый динамометры, установленные на стенде, подвергаются плавной нагрузке и разгрузке посредством поворота штурвала 6, закрепленного винтом на продолжении червяка редуктора. Приложенное усилие на рукоятке штурвала через редуктор, шпindel 5 (грузовой винт) и через образцовый динамометр 2 передается поверяемому динамометру. Максимальное усилие на рукоятке 6 штурвала 300 Н при усилии, передаваемом на приборы, 50 кН.

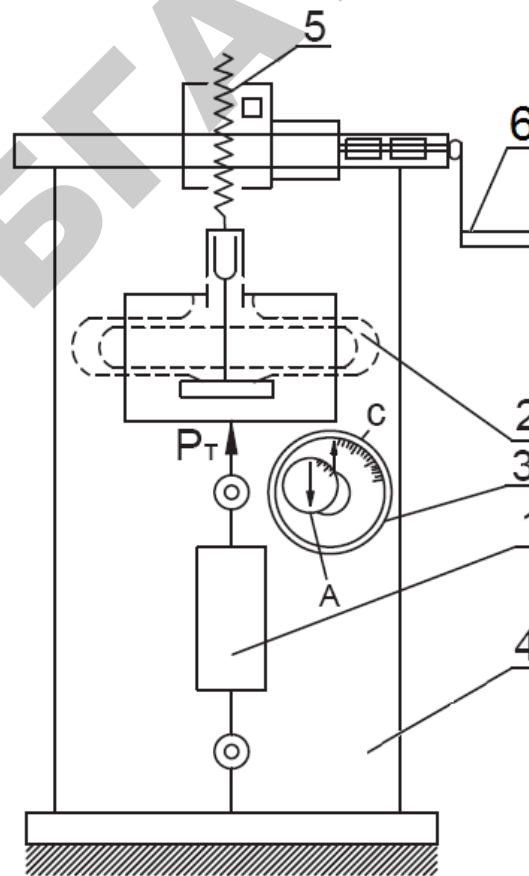


Рисунок 27 – Схема калибровки тягового динамометра:

1 – динамометр ДПУ-50-1-У1; 2 – образцовый динамометр ДОСМ-3-5;
3 – индикатор; 4 – стенд ТУД-5; 5 – шпindel червячного редуктора; 6 – штурвал

Пример расчета неопределенности для калибруемого динамометра

Таблица П.2.1 – Результаты измерений

№ измерения	Показания калибруемого динамометра, $F_{из}$, Н		Среднее арифметическое значение усилия \overline{F}_u , Н		Стандартное отклонение $S(F_{из})$, Н		Стандартная неопределенность $u(F_u)$, Н	
	В точке шкалы образцового динамометра, Н							
	20 000	40 000	20 000	40 000	20 000	40 000	20 000	40 000
1	20 100	40 100						
2	20 000	40 200						
3	20 200	40 200						
4	20 100	40 200						
5	20 000	40 300	20 090	40 230	73,8	64,1	23,33	22,85
6	20 100	40 300						
7	20 100	40 200						
8	20 200	40 200						
9	20 100	40 300						
10	20 000	40 200						

Для составления бюджета неопределенности, оценки суммарной неопределенности и определения расширенной неопределенности измерения усилия проводим анализ входных величин модели измерения.

Таблица П.2.2 – Анализ входных величин

Входная величина	Методика определения
F_u показание калибруемого динамометра	Тип неопределенности: А Вид распределения: нормальное Оцененное значение: $\overline{F}_u = 20\,090$ Н; $\overline{F}_u = 40\,230$ Н Интервал, в котором находится значение входной величины: — Стандартная неопределенность: $u(\overline{F}_u) = 23,33$ Н; $u(\overline{F}_u) = 22,85$ Н

Входная величина	Методика определения
F_s показание эталонного динамометра	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: $\overline{F}_s = 20000$ Н; $\overline{F}_s = 40000$ Н Интервал, в котором находится значение входной величины равен: — Стандартная неопределенность: —
ΔF_s погрешность эталонного динамометра	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины равен 0,3 % от измеряемого значения: а) $\Delta F_s = \pm 0,3 \cdot F_s / 100 = \pm 0,3 \cdot 20000 / 100 = \pm 60,0$ Н; б) $\Delta F_s = \pm 0,3 \cdot F_s / 100 = \pm 0,3 \cdot 40000 / 100 = \pm 120,0$ Н Стандартная неопределенность: $u(\Delta F_s) = \frac{\Delta F_s}{\sqrt{3}} = \frac{60,0}{\sqrt{3}} = 34,64$ Н; $u(\Delta F_s) = \frac{\Delta F_s}{\sqrt{3}} = \frac{119,11}{\sqrt{3}} = 69,36$ Н
ΔF_o погрешность оператора	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины равен 0,2 цены деления шкалы 500 Н $\Delta F_o = 0,2 \cdot 500 = 100$ Н Стандартная неопределенность: $u(\Delta F_o) = \frac{\Delta F_o}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57,74$ Н

Суммарная стандартная неопределенность равна:

- на ступени нагружения 20 000 Н:

$$u_c(F_u) = \sqrt{u^2(\bar{F}_u) + u^2(F_s) + u^2(\Delta F_s) + u^2(\Delta F_o)} = \\ = \sqrt{23,33^2 + 0 + 34,68^2 + 57,8^2} = 71,3 \text{ Н};$$

- на ступени нагружения 40 000 Н:

$$u_c(F_u) = \sqrt{u^2(\bar{F}_u) + u^2(F_s) + u^2(\Delta F_s) + u^2(\Delta F_o)} = \\ = \sqrt{22,85^2 + 0 + 69,36^2 + 57,8^2} = 93,1 \text{ Н}.$$

Процентные вклады неопределенности равны:

- в точке шкалы образцового динамометра 20 000 Н;

- калибруемого динамометра:

$$u(\bar{F}_u) = \frac{u^2(\bar{F}_u)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{23,33^2}{71,3^2} \cdot 100 = 10,8 \%;$$

- эталонного динамометра:

$$u(\Delta F_s) = \frac{u^2(\Delta F_s)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{34,66^2}{71,3^2} \cdot 100 = 23,6 \%;$$

- оператора:

$$u(\Delta F_o) = \frac{u^2(\Delta F_o)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{57,8^2}{71,3^2} \cdot 100 = 65,6 \%;$$

- в точке шкалы образцового динамометра 40 000 Н;

- калибруемого динамометра:

$$u(\bar{\Delta F}_u) = \frac{u^2(\bar{F}_u)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{22,85^2}{93,1^2} \cdot 100 = 6,0 \%;$$

- эталонного динамометра:

$$u(\Delta F_s) = \frac{u^2(\Delta F_s)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{69,36^2}{93,1^2} \cdot 100 = 55,5 \%;$$

- оператора:

$$u(\Delta F_o) = \frac{u^2(\Delta F_o)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{57,8^2}{93,1^2} \cdot 100 = 38,5 \%.$$

Расширенная неопределенность измерений на ступенях нагружения 20 000 Н и 40 000 Н с учетом коэффициента охвата $k = 2$ соответственно равна:

$$U_1(F_{u1}) = k \cdot u_c(\Delta F_u) = 2 \cdot 71,3 = 142,6 \text{ Н};$$

$$U_2(F_{u2}) = k \cdot u_c(\Delta F_u) = 2 \cdot 93,1 = 186,2 \text{ Н}.$$

Результат измерения:

Оцененная погрешность измерений тягового усилия калибруемым динамометром в точках шкалы образцового динамометра:

- 20 000 Н составляет $(\Delta F_{u1} \pm U_1) = (+90 \pm 142,6) \text{ Н}$ ($k = 2$, $p = 95 \%$);

- 40 000 Н составляет $(\Delta F_{u2} \pm U_2) = (+230 \pm 186,2) \text{ Н}$ ($k = 2$, $p = 95 \%$).

Таблица П.2.3 – Бюджет неопределенности

Входная величина X_i	Значение x_i	Интервал $\pm r$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад неопределенности $u(y)$	Процентный вклад, %
а) в точке шкалы эталонного динамометра 20 000 Н								
Среднее арифметическое значение усилия по динамометру $F_{из}$, Н	20090		A	Нормальное	23,33	1,0	23,33	10,8
Показания образцового динамометра F_3 , Н	20000		B	Прямоугольное	0	1,0	—	—
Погрешность эталона ΔF_3 , Н	0	60,0	B	Прямоугольное	34,68	1,0	34,68	23,6
Погрешность оператора ΔF_{op} , Н	0	100	B	Прямоугольное	57,8	1,0	57,8	65,6
Значение ΔF , Н	+90				71,3			
Суммарная неопределенность $u_c(\Delta F) = 71,3$ Н								
Расширенная неопределенность $U = k \cdot u_c(\Delta F) = 142,6$ Н								
б) в точке шкалы эталонного динамометра 40 000 Н								
Среднее арифметическое значение усилия по динамометру F_3 , Н	40230		A	Нормальное	22,87	1,0	22,87	6,0
Показания образцового динамометра F_3 , Н	40000		B	Прямоугольное	0	1,0	—	—
Погрешность эталона ΔF_3 , Н	0	120,0	B	Прямоугольное	69,36	1,0	69,36	55,5
Погрешность оператора ΔF_{op} , Н	0	100	B	Прямоугольное	57,8	1,0	57,8	38,5
Значение ΔF , Н	+230				93,1			
Суммарная неопределенность $u_c(\Delta F) = 93,1$ Н								
Расширенная неопределенность $U = k \cdot u_c(\Delta F) = 186,2$ Н								

Результат измерения: оцененная погрешность измерения тягового усилия калибруемым динамометром в точках шкалы образцового динамометра:

- 20 000 Н составляет $(\Delta F_{10} \pm U_1) = (+90 \pm 142,6)$ Н, ($k = 2, p = 95\%$); 40 000 Н составляет $(\Delta F_{20} \pm U_2) = (+230 \pm 186,2)$ Н, ($k = 2, p = 95\%$).

Основные сведения о калибруемом расходомере

Расходомер топлива «Flow-FCS3-250» со считывающим устройством SE-8005 или SCU 8005 предназначен для измерения количества расходуемого топлива (бензинового, дизельного, стартового и биотоплива) двигателями мощностью от 50 до 600 л.с. Прибор обеспечивает измерение расхода топлива как при стендовых (стационарных) испытаниях двигателей, так и в эксплуатационных условиях различных машин, оборудованных двигателями с расходом от 0,5 до 150 литров в час.

Датчик расхода топлива имеет автоматическое удаление воздуха перед и во время процесса измерения. Гашение колебаний топлива обеспечивается демпфером. Компенсация падения давления топлива производится в измерительном датчике.

Охлаждение циркулируемого топлива обеспечивается теплообменником и насосом перекачивания топлива. Благодаря большому теплообменнику прибор обеспечивает постоянную температуру топлива.

Технические характеристики

Тип дозирующего механизма	объемный поршневой
Измерительный диапазон, л/ч	0,5–150
Пропускная способность, л/ч	250
Основная погрешность измерения объема топлива, %	±0,5
Напряжение питания, В	12
Потребляемый ток, А, не более	8,0
Рабочее давление, макс. бар	5,0

Пример расчета неопределенности для расходомера топлива «Flow-FCS3-250»

Модель измерения:

Относительная погрешность измерения объема топлива калибруемым расходомером определяется по следующей формуле:

$$\delta = \frac{V_u - V_{is} + \Delta V_s + \Delta V_o}{V_s} \cdot 100,$$

где δ – относительная погрешность измерения объема топлива, %

V_u – объем топлива, измеренный калибруемым расходомером, мл;

V_{is} – показания эталонного мерника топлива, мл;

ΔV_s – погрешность эталонного мерника топлива, мл;

ΔV_o – погрешность оператора, мл.

Результаты измерений приведены в таблицах П.4.1–П.4.3.

Таблица П.4.1 – Определение цены импульса расходомера топлива «Flow-FCS3-250» при помощи стенда поверочного ИП165

Калибруемый прибор – расходомер топлива «Flow-FCS3-250» (вычислительное устройство зав.№ _____, датчик расхода топлива зав. № _____), диапазон измерения 0–150 л/ч, паспортная цена импульса _____ мл/имп. Условия калибровки: температура окружающей среды +19 °С и топлива +18 °С, атмосферное давление 98 кПа

Установочный расход топлива, л/ч	№ измерения	Напряжение питания, В	Продолжительность измерения t, с	Показания расходомера N_i , имп.	Объем топлива в мернике V_m , мл	Фактический расход топлива $G_m = \frac{3,6 \cdot V_m}{t}$, л/ч	Цена импульса $C_i = \frac{V_m}{N_i}$, мл/имп	Средняя цена импульса $C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$, мл/имп
~ 5	1	12,8	632,0	1034,1	1032	5,88	0,998	0,998
	2	12,8	633,0	1033,6	1032	5,87	0,998	
	3	12,8	632,4	1034,8	1033	5,88	0,998	
~ 30	1	12,8	119,7	1030	1030	30,98	1,000	1,001
	2	12,8	119,7	1029	1031	31,01	1,002	
	3	12,8	119,7	1029	1031	31,01	1,002	
~ 60	1	12,8	59,0	1029	1030	62,85	1,001	1,000
	2	12,8	59,0	1030	1030	62,85	1,000	
	3	12,8	59,0	1029	1029	62,79	1,000	
~ 90	1	12,8	43,9	1030	1029	84,38	0,999	0,999
	2	12,8	43,8	1030	1028	84,49	0,998	
	3	12,8	43,8	1030	1029	84,58	0,999	

Средняя цена импульса $C = 1,0$ мл/имп. для диапазона расхода топлива составляет 1–100 л/ч.

Таблица П.4.2 – Результаты измерений объема топлива эталонным мерником в различных точках рабочего диапазона расхода топлива

№ измерения	Показания эталонного мерника топлива, мл, в точках рабочего диапазона измерения расхода топлива			
	~ 5,9 л/ч	~ 31,0 л/ч	~ 62,8 л/ч	~ 84,4 л/ч
1	1032	1030	1030	1029
2	1032	1031	1030	1028
3	1033	1031	1029	1029
4	1032	1030	1029	1029
5	1033	1030	1030	1028
6	1031	1031	1030	1028
7	1032	1031	1029	1029
8	1032	1030	1029	1028
9	1033	1031	1030	1029
10	1031	1030	1030	1029
Среднее арифметическое значение расхода \bar{V}_s , мл	1032,1	1030,5	1029,6	1028,6
Стандартное отклонение $S(V_{is})$, мл	0,74	0,53	0,52	0,52
Стандартная неопределенность $u(V_s)$, мл	0,23	0,17	0,16	0,16

Таблица П.4.3 – Результаты измерений объема топлива эталонным мерником в различных точках рабочего диапазона расхода при определении значений цены импульса калибруемого расходомера

№ измерения	Показания эталонного мерника топлива, мл, в точках рабочего диапазона измерения расхода топлива, л/ч			
	5,9	31,0	62,8	84,4
1	1032	1030	1030	1029
2	1032	1031	1031	1028
3	1033	1031	1031	1029
Среднее арифметическое значение расхода \bar{V}_u , мл	1030,6			
Стандартное отклонение $S(V_u)$, мл	1,44			
Стандартная неопределенность $u(\bar{V}_u)$, мл	0,42			

Таблица П.4.4 – Анализ входных величин

Входная величина	Методика определения
V_3 показания эталонного мерника	<p>Тип неопределенности: А Вид распределения: нормальное Оцененное значение: $\bar{V}_3 = 1032,1$ мл; $\bar{V}_3 = 1030,5$ мл; $\bar{V}_3 = 1029,6$ мл; $\bar{V}_3 = 1028,6$ мл.</p> <p>Интервал, в котором находится значение входной величины: — Стандартная неопределенность: $u(\bar{V}_3) = 0,23$ мл; $u(\bar{V}_3) = 0,17$ мл; $u(\bar{V}_3) = 0,16$ мл; $u(\bar{V}_3) = 0,16$ мл.</p>

Окончание таблицы П.4.4

Входная величина	Методика определения
V_u показания калибруемого расходомера	<p>Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: $V_u = C_{cp} N_i = 1030,6$ мл; Интервал, в котором находится значение входной величины, равен: — Стандартная неопределенность: — $u(V_u) = 0,42$ мл</p>
ΔV_0 погрешность оператора	<p>Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины, равен 0,5 цены деления шкалы 1,0 мл: $\Delta V_0 = 0,5 \cdot 1,0 = 0,5$ мл; Стандартная неопределенность: $u(\Delta V_0) = \frac{\Delta V_0}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29$ мл</p>
ΔV_3 погрешность эталонного мерника	<p>Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины, равен 0,5 % от измеряемой величины 1000 мл: $\Delta V_3 = 0,5 \cdot 1000 / 100 = 5$ мл Стандартная неопределенность: $u(\Delta V_3) = \frac{\Delta V_3}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2,89$ мл.</p>

Коэффициенты чувствительности:

– для ΔV_u (относительная погрешность):

$$C_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \Delta V_u} \cdot 100 = \frac{1 - \Delta V_u}{\bar{V}_3} \cdot 100 = \frac{100}{\bar{V}_3};$$

– для ΔV_3 (относительная погрешность):

$$C_2 = \frac{\partial \delta}{\partial \Delta V_3} \cdot 100 = \frac{1 - \Delta V_3}{\bar{V}_3} \cdot 100 = \frac{100}{\bar{V}_3};$$

– для ΔV_o (относительная погрешность):

$$C_3 = \frac{\partial \delta}{\partial \Delta V_o} \cdot 100 = \frac{1 - \Delta V_o}{\bar{V}_3} \cdot 100 = \frac{100}{\bar{V}_3};$$

Относительная суммарная стандартная неопределенность равна:

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 5,9 л/ч:

$$u_c(\delta) = \frac{1}{\bar{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\bar{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 =$$

$$= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,23^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1032,1} \cdot 100 = \frac{2,944}{1032,1} \cdot 100 = 0,285 \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 31,0 л/ч:

$$u_c(\delta) = \frac{1}{\bar{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\bar{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 =$$

$$= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,17^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1030,5} \cdot 100 = \frac{2,939}{1030,5} \cdot 100 = 0,285 \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 62,8 л/ч:

$$u_c(\delta) = \frac{1}{\bar{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\bar{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 =$$

$$= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,16^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1029,6} \cdot 100 = \frac{2,939}{1029,6} \cdot 100 = 0,285 \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 83,0 л/ч:

$$u_c(\delta) = \frac{1}{\bar{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\bar{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 =$$

$$= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,16^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1028,6} \cdot 100 = \frac{2,939}{1028,6} \cdot 100 = 0,286 \%;$$

Процентные вклады неопределенностей равны:

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 5,9 л/ч

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,944^2} \cdot 100 = 2,0 \%;$$

$$u(\bar{V}_3) = \frac{u^2(\bar{V}_3)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,23^2}{2,944^2} \cdot 100 = 0,63 \%;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,944^2} \cdot 100 = 0,97 \%;$$

$$u(\Delta V_3) = \frac{u^2(\Delta V_3)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,944^2} \cdot 100 = 96,40 \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 31,0 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,939^2} \cdot 100 = 2,01 \%;$$

$$u(\bar{V}_3) = \frac{u^2(\bar{V}_3)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,17^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,32 \%;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,97 \%;$$

$$u(\Delta V_3) = \frac{u^2(\Delta V_3)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,939^2} \cdot 100 = 96,69 \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 62,8 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,939^2} \cdot 100 = 2,01 \%;$$

$$u(\bar{V}_3) = \frac{u^2(\bar{V}_3)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,16^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,31 \%;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,97 \% ;$$

$$u(\Delta V_s) = \frac{u^2(\Delta V_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,939^2} \cdot 100 = 96,71 \% .$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 84,4 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,939^2} \cdot 100 = 2,01 \% ;$$

$$u(\bar{V}_s) = \frac{u^2(\bar{V}_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,16^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,31 \% ;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,97 \% ;$$

$$u(\Delta V_s) = \frac{u^2(\Delta V_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,939^2} \cdot 100 = 96,71 \% .$$

Относительная расширенная неопределенность измерения объема топлива калибруемым расходомером топлива в точках рабочего диапазона расхода топлива:

– 5,9 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,285 = 0,570 \% ;$

– 31,0 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,285 = 0,570 \% ;$

– 62,8 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,285 = 0,571 \% ;$

– 84,4 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,286 = 0,571 \% ;$

Указанные относительные расширенные неопределенности являются произведением относительной стандартной неопределенности измерения и коэффициента охвата $k=2$ при уровне доверия 95 %. Результаты расчетов заносят в таблицу П.4.5.

Таблица П.4.5 – Бюджет неопределенности

Величина X_i	Значение x_i	Интервал $\pm r$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад неопределенности $u(y)$	Процентный вклад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
а) в точке рабочего диапазона измерения расхода топлива ~ 5,9 л/ч								
Среднее арифметическое значение объема по эталону $V_э$, мл	1032,1		A	Нормальное	0,23	0,1	0,023	0,63
Показания калибруемого расходомера $V_{из}$, мл	1030,6		B	Прямоугольное	0,42	0,1	0,042	2,00
Погрешность эталона $\Delta V_э$, мл		5,0	B	Прямоугольное	2,89	0,1	0,289	96,40
Погрешность оператора $\Delta V_о$, мл		0,5	B	Прямоугольное	0,29	0,1	0,029	0,97
Абсолютная погрешность показаний расходомера $\Delta V_{из}$, мл	-1,5							
Относительная погрешность $\delta = \frac{\Delta V_{из}}{V_э}$	-0,00147				0,285			
Относительная суммарная неопределенность $u_c(\delta) = 0,285 \%$								
Относительная расширенная неопределенность $U = k u_c(\delta) = 0,570 \%$								

Окончание таблицы П.4.5

Величина X_i	Значение x_i	Интервал $\pm r$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад неопределенности $u(y)$	Процентный вклад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
б) в точке рабочего диапазона измерения расхода топлива ~ 31,0 л/ч								
Среднее арифметическое значение объема по эталону $V_э$, мл	1030,5		A	Нормальное	0,17	0,1	0,017	0,32
Показания калибруемого расходомера $V_{из}$, мл	1030,6		B	Прямоугольное	0,42	0,1	0,042	2,01
Погрешность эталона $\Delta V_э$, мл			B	Прямоугольное	2,89	0,1	0,289	96,69
Погрешность оператора $\Delta V_о$, мл			B	Прямоугольное	0,29	0,1	0,029	0,97
Абсолютная погрешность показаний расходомера $\Delta V_{из}$, мл	0,1							
Относительная погрешность $\delta = \frac{\Delta V_{из}}{V_э}$	0,00008				0,285			
Относительная суммарная неопределенность $u_c(\delta) = 0,285 \%$								
Относительная расширенная неопределенность $U = k u_c(\delta) = 0,570 \%$								

Результат измерения:

Оцененная относительная погрешность измерения объема топлива калибруемым расходомером в точках рабочего диапазона измерения расхода топлива:

- 5,9 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (-0,147 \pm 0,570) \% (k = 2, p = 95 \%)$;
- 31,0 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (+0,008 \pm 0,570) \% (k = 2, p = 95 \%)$;
- 62,8 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (+0,096 \pm 0,571) \% (k = 2, p = 95 \%)$;
- 84,4 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (+0,193 \pm 0,571) \% (k = 2, p = 95 \%)$.

Таблица П.4.6 – Результаты калибровки расходомера

Предел измерения, л/ч	Калибруемая точка, л/ч	Показания калибруемого расходомера, мл	Показания эталонного мерника, мл	Относительная погрешность расходомера, %	Относительная расширенная неопределенность, %
1–100	5,9	1030,6	1032,5	–0,147	0,570
	31,0	1030,6	1030,5	+0,008	0,570
	62,8	1030,6	1029,6	+0,096	0,571
	84,4	1030,6	1028,6	+0,193	0,571

Таблица П.5.1 – Длины тяг и звеньев навесного устройства, мм

Параметры подъемно-навесного устройства	Обозначение (рисунок 26)	Тракторы					
		«БЕЛАРУС 522»	«БЕЛАРУС 822	«БЕЛАРУС 1022»	«БЕЛАРУС 422»	«БЕЛАРУС 1522»	«БЕЛАРУС 2522»
1. Высота стойки	r_{BC}	450	460	460	460	685	1000
2. Длина верхней тяги	r_{DC}	520–800	520–800	620	600	760	900 ± 125
3. Длина нижней тяги	r_{AB}	950	885	885	620	1060	1015
3'. Длина нижней тяги до раскоса	r'_{AF}	410	410	410	280	639	870
4. Длина раскоса	r_{FE}	475	475	490	400	740	640
5. Длина подъемного рычага	r_{DE}	260	260	260	105	340	630
6. Длина поворотного рычага	r_{DG}	140	140	140	250	182	215
6'. Смещение шарнира	r'_D	–	–	–	115	60	–
7. Длина гидроцилиндра	l_{AG}	515–715	515–715	515–715	350–470	665–715	560–810
8. Высота от оси подвеса до точки приложения сил сопротивления	$m_3 + h_{пв}/2$	525	525	525	525	525	525
9. Горизонтальное расстояние между шарнирами крепления верхней и нижней тяг на тракторе	X_0	от 186,5*** до 230,5	от 186,5*** до 230,5	от 186,5 до 227,5	410	270	70
10. Вертикальное расстояние между шарнирами крепления верхней и нижней тяг	Y_0	от 308 до 360***	от 376 до 430***	от 335 до 433***	335	718	650
11. Радиус колеса статический	$R_{ст}$	730	730	730	554	805	907***

* Два отверстия

** Высота над уровнем опорной поверхности оси вращения звездочки и заднего шарнира нижней тяги

*** Три отверстия крепления верхней тяги на тракторе

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Примеры расчета

Расчет усилий в звеньях навесного устройства трактора Т-74 (двухточечная модификация)

Длины звеньев и углы их наклона к горизонтали, определены по схеме механизма (см. практическую работу 2, рисунок 26), приведены в таблицах 3.6, 3.7. Примем вес орудия $Q = 10$ кН и тяговое сопротивление сельхозорудия $R_x = 30$ кН. Для этих значений сил в таблицах подсчитаны усилия в звеньях механизма.

Таблица П.6.1 – Углы наклона к вертикали звеньев подъемно-навесного устройства

Положения	Стойки α_{BC}	Верхней тяги β	Нижней тяги γ	Раскоса α_{EF}	Подъемного рычага α_{DE}	Поворотного рычага α_{DG}	Гидроцилиндра τ	Условного рычага ν
Нижнее	-8	89	67	-7	60	45	21	124
Рабочее	-1	115	90	-5	92	77	22	117
Верхнее	22	172	138	-10	149	135	15	94

Таблица П.6.2 – Длины звеньев подъемно-навесного устройства, мм

Условного рычага l	Стойки r_{BC}	Верхней тяги r_{DC}	Нижней тяги r_{AB}	Нижней тяги до раскоса r_{AF}	Раскоса r_{FE}	Подъемного рычага r_{DE}	Поворотного рычага r_{DG}
1350	1000	900	900	770	640	650	185

Таблица П.6.3 – Значения коэффициентов и углов наклона, град

Положения навески	$\sin \nu$	$\cos \nu$	$\beta - \alpha_{BC}$	$\sin(\beta - \alpha_{BC})$	K_1/K'_1	$\sin \gamma$	$\cos \gamma$	$\gamma - \beta$	$\cos(\gamma - \beta)$	K_2/K'_2
Нижнее	0,829	-0,559	97°	0,992	$\frac{1,13}{-0,76}$	0,92	0,391	-22°	0,927	$\frac{-0,654}{1,625}$
Рабочее	0,891	-0,454	116°	0,889	$\frac{1,335}{-0,682}$	1	0	-25°	0,906	$\frac{1,21}{1,625}$
Верхнее	0,988	-	150°	0,5	$\frac{2,695}{-}$	0,67	-0,743	-34°	0,829	$\frac{-2,98}{-}$
Положения навески	$\sin(\gamma - \beta)$	K_3/K'_3	$\alpha_{EF} + \gamma$	$\sin(\alpha_{EF} + \gamma)$	K_4/K'_1	$\alpha_{EF} + \alpha_{DE}$	$\sin(\alpha_{EF} + \alpha_{DE})$	$\alpha_{DG} + \tau$	$\sin(\alpha_{DG} + \tau)$	K_5/K'_5
Нижнее	-0,375	$\frac{1,343}{0,108}$	60°	0,866	$\frac{1,815}{0,146}$	53°	0,798	66°	5,9135	$\frac{5,57}{0,448}$
Рабочее	-0,423	$\frac{1,565}{-0,288}$	85°	0,996	$\frac{1,831}{0,338}$	87°	0,998	99°	0,988	$\frac{6,51}{-1,19}$
Верхнее	-0,56	$\frac{2,18}{-}$	128°	0,788	$\frac{3,23}{-}$	139°	0,656	150°	0,5	$\frac{14,9}{-}$

117

Таблица П.6.4 – Продольные усилия в звеньях и тягах механизма навески, кН

Положения навески	Усилия от действия силы веса Q					Тяговое сопротивление R_x	Усилия от действия тягового сопротивления R_x			
	Вес орудия Q	В цилиндре $P'_{AG} = K_5 Q$	В раскосе $T'_{EF} = K_4 Q$	В нижней тяге $T'_{AB} = K_3 Q$	В верхней тяге $T'_{DC} = K_1 Q$		В раскосе $T'_{AF} = K'_4 R_x$	В верхней тяге $T'_{DC} = K'_2 R_x$	В нижней тяге $T'_{BA} = K'_1 R_x$	В цилиндре $P'_{AG} = K'_5 R_x$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нижнее	10	55,7	18,15	6,54	11,30	30	4,37	-48,70	-22,80	13,45
Рабочее	10	65,1	18,36	12,10	13,35	30	-10,15	-48,50	-20,45	-35,70
Верхнее	10	14,9	32,30	29,60	26,95	-	-	-	-	-

811

Таблица П.6.5 – Суммы усилий в звеньях и тягах механизма навески, кН

Положения навески	Внешняя нагрузка		Суммы продольных составляющих				Нормальные составляющие и их суммы в нижней тяге		
	Нормальная Q	Тяговая R_x	Вдоль цилиндра $P_{AG}=P'_ц+P''_ц$	Вдоль раскоса $T_{FE}=T'_{FE}+T''_{FE}$	Вдоль нижней тяги $T_{AB}=T'_{AB}+T''_{AB}$	Вдоль верхней тяги $T_{DC}=T'_{DC}+T''_{DC}$	$N'_{AB}=K_3Q$	$N''_{AB}=K'_3R_x$	$N_{AB}=N'_{AB}+N''_{AB}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нижнее	10	30	69,15	22,52	42,16	-11,5	13,43	3,24	16,67
Рабочее	10	30	29,40	8,21	36,4	-7,10	15,65	-8,65	7
Верхнее	10	-	14,9	32,3	29,6	26,95	21,8	-	21,8

РЕПОЗИТОРИЙ БГАМУ

Таблица П.6.6 – Длины звеньев подъемно-навесного устройства, мм

Условного рычага от точки подвеса	Стойки BC	Верхней тяги DC	Нижней тяги AB	Нижней тяги AF до раскоса	Раскоса EF	Поворотного рычага DE	Подъемного рычага DG
n	r_{BC}	r_{DC}	r_{AB}	r_{AF}	r_{EF}	r_{DE}	r_{DG}
610	460	600	620	280	400	260	105

Таблица П.6.7 – Углы наклона звеньев подъемно-навесного устройства к вертикали, град

Положения навески	Стойки навески α_{BC}	Верхней тяги β	Нижней тяги γ	Раскоса α_{EF}	Подъемного рычага α_{DE}	Поворотного рычага α_{DC}	Цилиндра τ	Условного рычага ν
Нижнее	-6	81,5	71	-2	71	48,5	13	96
Рабочее	1,5	112	90	-3	92	72	14	38
Верхнее	22,5	154	135	-6	142	122,5	11	68

Таблица П.6.8 – Расчетные кинематические коэффициенты взаимодействия трактора и задненавесного орудия

Наименование коэффициента	Значение коэффициента	Наименование коэффициента	Значение коэффициента
K_1	3,43	K'_1	-0,67
K_2	-3,39	K'_2	1,66
K_3	1,45	K'_3	-0,17
K_4	2,34	K'_4	-0,27
K_5	5,31	K'_5	-0,61
K_{12}	2,28	K'_{22}	-2,27

Пример расчета усилий в звеньях навесного устройства трактора «БЕЛАРУС 2102» приведен в таблице П.6.9.

Таблица П.6.9 – Усилия в звеньях заднего навесного устройства при высотном регулировании (работа с копирующим колесом орудия)

Наименование показателя	R_x	Y_H	T_{DC}	T_{AB}
Значение показателя, кН	30,00	8,28	-5,57	35,40
	40,00	11,03	-7,43	47,19
	50,00	13,79	-9,29	58,99

Эквиваленты энергии

- Низшая теплота сгорания H_u , кДж/кг (ккал/кг):
 - дизельного топлива 42 500 (10 000);
 - бензина 43 900.
- Единицы расхода энергии:
 - механической:
 - 1 кДж = кН·м/с,
 - 1 кВт·ч = кН·м·ч = 3600 кДж = 3,6 МДж,
 - 1 кгс·м ≈ 10 Дж;
 - тепловой:
 - $Q = 10\ 000$ ккал/кг топлива,
 - 1 ккал ≈ 4,20 кДж·м,
 - 1 Мкал ≈ 4,20 МДж,
 - 1 ккал/ч = 1,16 Вт,
 - 1 ккал/с = 4,2 кВт.

Для заметок

Для заметок

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Учебное издание

Горин Геннадий Степанович
Захаров Александр Викторович
Ващула Александр Владимирович и др.

Кафедра тракторов и автомобилей

ТЕОРИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания
по выполнению лабораторных и практических работ

В 2 частях

Часть 1

Ответственный за выпуск *Г.С. Горин*
Редактор *Ю.П. Каминская*
Компьютерная верстка *Ю.П. Каминская*

Подписано в печать 03.11.2009 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 7,21. Уч.-изд. л. 5,64. Тираж 120 экз. Заказ 975.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006.
ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.

ТЕОРИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

В 2 частях

Часть 1

Минск
БГАТУ
2009